



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación

# **Sistema de adquisición NetdB aplicado a prácticas de Acústica Arquitectónica**

## **Herramienta OneNote 2010**

-Proyecto Fin de Carrera-

Autor: Lidia Reguero Cano

Tutor: D. Javier Sánchez Jiménez

Madrid, Enero 2014



Deseo mostrar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas sin las cuales este proyecto no hubiera visto la luz:

A mis padres y hermano, que les debo todo en la vida, por su apoyo incondicional, por guiarme y a la vez dejarme ser quien soy. Nunca os agradeceré lo suficiente todo lo que habéis hecho y seguís haciendo por mí.

A mis amigos y amigas, por todo el apoyo, las fuerzas y el ánimo que siempre me habéis dado, sois de lo mejor de mi vida.

A todos los que habéis estado presentes en mi etapa universitaria, en especial a ti, Lucía, por todos esos momentos que hemos vivido y que no olvidaré nunca.

A Ana, por ser mi compañera en este proyecto. Sin ti no hubiera sido “divertido”.

A D. Javier Sánchez Jiménez, tutor de este proyecto, por su dedicación, cercanía y por confiar en mi capacidad para la realización del mismo.

A los maestros de laboratorio por hacer real cualquier montaje imaginable, por su plena disposición a ayudar y por su amabilidad.

Al Tribunal examinador por el tiempo que ha dedicado a la lectura del proyecto y por la atención prestada durante su defensa.

Muchísimas gracias a todos.

*Lidia*



Resumen

Resumen

---



Este proyecto está dividido en dos partes, una de ellas dedicada al estudio del sistema de adquisición NetdB y su aplicación a prácticas de Acústica Arquitectónica y la otra dedicada a la evaluación de la herramienta OneNote 2010 y su aplicación al proceso enseñanza – aprendizaje.

Se estructura en cinco secciones bien definidas que se comentan a continuación:

La primera sección, **fundamentos teóricos**, se centrará en explicar los distintos parámetros medidos y su relación con la acústica. Para ello se definirán los conceptos teóricos básicos que ayudarán al seguimiento del proyecto en su totalidad.

La segunda sección está dedicada al **sistema de adquisición NetdB**, y en ella se explican sus características, el conexionado del equipo y la configuración del mismo con el software dBbati.

En la tercera sección se describen las **medidas realizadas** con el sistema de adquisición NetdB, basadas en la normativa nacional e internacional vigente. Estas medidas son:

- Medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios, según la Norma UNE-EN ISO 3382-2.
- Medición del coeficiente de absorción sonora en cámara reverberante, según la Norma UNE-EN ISO 354.
- Medición “*in situ*” del aislamiento a ruido aéreo, según las normas UNE-EN ISO 140-4 y UNE-EN ISO 717-1.

En cada una de las medidas se describe el objetivo, los equipos utilizados, la conexión entre los distintos equipos, el ensayo realizado según la norma correspondiente, los cálculos y resultados obtenidos y las conclusiones finales de la medida.

En la cuarta sección se describe la **herramienta OneNote 2010**, detallándose su estructura, configuración y la evaluación de su aplicación al proceso enseñanza – aprendizaje.

Por último, se darán unas **conclusiones** finales, en las que se recapitularán los resultados de las valoraciones obtenidos durante la realización del proyecto.





# Abstract

Abstract

---



This project is divided into two parts, one of them dealing with the study of NetdB acquisition system and its application on Architectural Acoustics practices and the other dedicated to the evaluation of the OneNote 2010 tool and its application on the teaching-learning process.

The structure of the project consists of five clearly defined sections as stated hereunder:

1. Theoretical fundamentals, based on the explanation of the different parameters subject to measurement and their relation to acoustics. To this end, basic theoretical concepts will be clearly defined, which will help the follow-up of the project as a whole.
2. NetdB acquisition system: whereby features will be clearly defined, as well as the equipment connection and its configuration within the dBbati software.
3. Description of the measures carried out on the NetdB acquisition system under current regulations both national and international, being those measures as follows:
  - Reverberation Time measurement in ordinary premises, according to the UNE-EN ISO 3382-2 standard.
  - Sound absorption ratio measurement in reverberating chamber, according to the UNE-EN ISO 354 standard.
  - “*In situ*” sound proofing air traffic, according to UNE-EN ISO 140-4 and UNE-EN ISO 717-1 standards.

Each of the measures stated above comprises the description of the following issues: its aim, the equipment in use, the connection among different equipment, the test carried out under the corresponding standard, the calculations and results obtained and finally the conclusions reached at.

4. OneNote 2010 tool: full description detailing its structure, configuration as well as the evaluation of its application on the teaching-learning process.

Finally, the report will give the final conclusions by means of recapitulating the results of the different assessments obtained along the process.



# Índice

<b>Resumen</b>	<b>5</b>
<b>Abstract</b>	<b>9</b>
<b>Introducción</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo 1 Fundamentos teóricos</b>	<b>21</b>
Introducción	23
1 Acondicionamiento acústico	24
1.1 Conceptos previos	25
1.1.1 Absorción de sonido	25
1.1.2 Reverberación	26
1.2 Materiales acústicos absorbentes	27
1.2.1 Absorbentes porosos	28
1.2.2 Materiales para argamasa	32
1.2.3 Resonadores	32
2 Aislamiento	36
2.1 Legislación acústica en la edificación	36
2.1.1 La NBE CA 88	36
2.1.2 El CTE. Documento Básico HR: Protección frente al ruido	36
2.2 Diferencia entre aislamiento acústico “ <i>in situ</i> ” y en laboratorio	38
2.3 Las magnitudes de aislamiento acústico. Relaciones entre índices	41
<b>Capítulo 2 Sistema de adquisición NetdB</b>	<b>43</b>
Introducción	45
1 Conexionado	46
2 Configuración	47
2.1 Configuración de la red	47
2.2 Verificación del estado de la red	47
2.3 Adquisición de hardware	49
2.4 Configuración de hardware	53
2.5 Calibración	56

## **Capítulo 3    Medidas realizadas .....59**

1	Medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios .....	61
1.1	Objetivo .....	61
1.2	Procedimiento de medida .....	61
1.2.1	Equipos utilizados .....	61
1.2.2	Conexión entre equipos .....	62
1.2.3	Ensayo según norma.....	62
1.2.4	Desarrollo de la medida.....	69
1.2.4.1	Ruido interrumpido.....	73
1.2.4.2	Respuesta impulsiva integrada .....	77
1.3	Cálculos y resultados obtenidos .....	79
1.3.1	Ruido interrumpido .....	79
1.3.2	Respuesta impulsiva integrada .....	85
1.4	Conclusiones .....	89
2	Medición del coeficiente de absorción sonora en cámara reverberante.....	91
2.1	Objetivo .....	91
2.2	Procedimiento de medida .....	91
2.2.1	Equipos utilizados .....	91
2.2.2	Conexión entre equipos .....	92
2.2.3	Ensayo según norma.....	92
2.2.4	Descripción de la muestra .....	99
2.2.5	Desarrollo de la medida.....	99
2.2.5.1	Ruido interrumpido.....	101
2.2.5.2	Respuesta impulsiva integrada .....	104
2.3	Cálculos y resultados obtenidos .....	105
2.3.1	Ruido interrumpido .....	106
2.3.2	Respuesta impulsiva integrada .....	132
2.4	Conclusiones .....	145

3	Medición “ <i>in situ</i> ” del aislamiento a ruido aéreo .....	147
3.1	Objetivo.....	147
3.2	Procedimiento de medida.....	147
3.2.1	Equipos utilizados .....	147
3.2.2	Conexión entre equipos.....	148
3.2.3	Ensayo según norma .....	149
3.2.3.1	Medición del aislamiento a ruido aéreo .....	149
3.2.3.2	Evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo .....	154
3.2.3.3	Determinación, verificación y aplicación de datos de precisión.....	160
3.2.4	Desarrollo de la medida .....	165
3.3	Cálculos y resultados obtenidos.....	172
3.4	Conclusiones .....	190
<b>Capítulo 4</b>	<b>Herramienta OneNote 2010 .....</b>	<b>191</b>
	Introducción .....	193
1	Estructura .....	193
2	Configuración .....	194
2.1	Crear un bloc de notas.....	194
2.1.1	Almacenamiento en “Web” .....	194
2.1.2	Almacenamiento en “Red” .....	196
2.1.3	Almacenamiento en “Mi PC” .....	197
2.2	Compartir un bloc de notas .....	198
2.2.1	Ubicación compartida .....	198
2.2.1.1	“Enviar correo electrónico” .....	199
2.2.1.2	“Publicar en” .....	200
2.2.1.3	“Obtener un vínculo” .....	201
2.2.2	Ubicación no compartida .....	202
3	Utilidades .....	204
4	OneNote 2010 en otros dispositivos .....	207
5	Aplicación de OneNote 2010 al proceso enseñanza – aprendizaje .....	208

<b>Capítulo 5</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>211</b>
1	Conclusiones generales del proyecto .....	213
1.1	Sistema de adquisición NetdB.....	213
1.2	Herramienta OneNote 2010.....	214
2	Ampliaciones al proyecto.....	215
3	Líneas de investigación .....	216
	<b>Referencias.....</b>	<b>217</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>219</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>Valoración económica .....</b>	<b>225</b>
<b>Anexo 2</b>	<b>Especificaciones técnicas.....</b>	<b>231</b>
1	Micrófonos de presión ¼” MI 17, AVM.....	233
2	Amplificador de potencia M700, Inter-M.....	235
3	Fuente sonora dodecaédrica DO12, AVM .....	237
4	Fuente sonora MSP5, Yamaha.....	239
5	Sistema de adquisición NetdB, 01 dB –Metravib .....	242
6	Calibrador de nivel de presión sonora Cal01, 01 dB.....	244
7	Medidor de condiciones ambientales VelociCalc plus, TSI .....	245



# Introducción

Introducción

---



La acústica arquitectónica es una rama de la acústica que se encarga de estudiar el comportamiento del sonido en espacios arquitectónicos, bien sea por la necesidad de aislar diferentes recintos entre sí (aislamiento acústico), o bien para mejorar el sonido en el interior de los locales (acondicionamiento acústico).

Hasta el siglo XIX, el estudio de la acústica arquitectónica era meramente práctico, y se basaba en copiar espacios existentes en los que la música sonaba bien.

A finales del siglo XIX comienza lo que se conoce como la acústica arquitectónica moderna gracias al físico norteamericano Wallace Clement Sabine, el cual inicia los estudios sobre reverberación y obtiene resultados realmente buenos en la acústica de salas incorporando absorbentes sonoros.

En este proyecto se va a valorar la posible aplicación del sistema de adquisición NetdB a mediciones de acústica arquitectónica. Para ello se realizarán una serie de medidas, tomando como procedimiento el especificado en la normativa nacional e internacional vigente.

Además se realizará una evaluación de la utilidad de la herramienta OneNote 2010 en el proceso enseñanza – aprendizaje.

El proyecto se divide en cinco partes bien diferenciadas, que consisten en:

Una primera parte en la que se definen los conceptos acústicos que se mencionarán en el proyecto.

En la segunda parte se describe el sistema de adquisición NetdB, detallando sus características principales, el conexionado del equipo y la configuración con el software dBBati.

La tercera parte es la descripción de las medidas realizadas según la normativa correspondiente, y la evaluación de los resultados obtenidos. Se realizará la medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios, la medición del coeficiente de absorción sonora en cámara reverberante y la medición “*in situ*” del aislamiento a ruido aéreo.

En la cuarta parte se describe el funcionamiento básico de la herramienta OneNote 2010 y se valora su utilidad en el proceso enseñanza – aprendizaje.

La última sección es un compendio de las deducciones obtenidas de las que se obtendrán las conclusiones finales sobre el proyecto. Se proponen estudios complementarios al proyecto que pueden servir para tener una visión del sistema más profunda, y la línea de investigación que se está siguiendo.



# Capítulo 1

## Fundamentos teóricos

---



## Introducción

El sonido puede considerarse como una alteración física que se propaga por un medio, por ejemplo el aire, que puede ser detectada por el oído humano dentro del rango de frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 kHz.

El ruido puede definirse objetivamente, en cuanto que implica el mismo fenómeno físico que constituye un sonido, aunque suele definirse de una manera más subjetiva, considerándose como un sonido molesto o un sonido no deseado. Es decir, el ruido es una apreciación subjetiva del sonido considerándose toda energía acústica susceptible de alterar el bienestar fisiológico o psicológico, interfiriendo y perturbando el desarrollo normal de las actividades cotidianas. Por lo tanto, un mismo sonido puede ser considerado como molesto o agradable, dependiendo de la sensibilidad o actividad que esté desarrollando el receptor.

La contaminación acústica es el exceso de ruido que altera las condiciones normales del medio ambiente en una determinada zona. Se trata de un problema que afecta a la sociedad en general, provocado como consecuencia directa y no deseada de las actividades humanas (tráfico, actividades industriales, de ocio, etc.) y que tiene efectos negativos, tanto en la salud de las personas como a nivel social y económico.

Lo primero sería diferenciar los conceptos básicos en el ámbito de la acústica arquitectónica o acústica de la edificación, como son el aislamiento acústico y el acondicionamiento acústico. Los objetivos de uno y otro, aunque relacionados entre sí, son distintos, pero deben emplearse conjuntamente para unir y complementar su potencial.

Se entiende por aislamiento acústico al conjunto de procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos (tanto aéreos como estructurales) de un recinto a otro o desde el exterior hacia el interior de un recinto o viceversa, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. Cuando se habla de aislamiento siempre se tiene en consideración a dos recintos diferentes, es decir, se considera el sonido que se genera en un recinto, que se transmite y es percibido en otro recinto.

A diferencia del aislamiento acústico, el acondicionamiento acústico implica a un único recinto, es decir, el sonido es generado y recibido en el mismo recinto. Por acondicionamiento acústico se entiende una serie de medidas que se toman para conseguir en un recinto unas condiciones acústicas y un ambiente sonoro interior, determinados conforme al uso que se le va a dar al recinto.

## 1 Acondicionamiento acústico

La expresión acondicionamiento acústico suele estar asociada a recintos como auditorios o teatros, que tienen una acústica excepcional. Sin embargo, con cierta frecuencia existen recintos de uso cotidiano donde las condiciones acústicas no son las adecuadas. Esto se debe a que estos establecimientos suelen tener todas sus superficies acústicamente reflectantes y, al ser de un tamaño considerable y contar con muy poca absorción, el sonido permanece más tiempo en el ambiente, incrementándose paulatinamente los niveles de ruido de fondo.

Es a este tipo de recintos en los que incide el Documento Básico HR Protección frente al ruido, para que desde la etapa de diseño se tengan en cuenta las condiciones acústicas, de tal forma que se elijan materiales adecuados para que el tiempo de reverberación se mantenga dentro de un límite que no dificulte la transmisión o la percepción de la palabra.

Cuando las aulas y las salas de conferencias son de cierto tamaño (el DB HR fija el volumen máximo para la aplicación del método de cálculo en  $350 \text{ m}^3$ ) es necesaria la realización de estudios específicos de mayor complejidad que lo exigido en el DB HR.

En la parte I d el Código Técnico de Edificación se establece que, para cumplirse las exigencias de protección frente al ruido, debe limitarse el ruido reverberante de los recintos. Esta exigencia tiene dos motivos:

- La disminución de los niveles de ruido en el interior de los edificios.
- Una mayor inteligibilidad de la palabra, que es especialmente importante en recintos como aulas y salas de conferencias.

Tal y como está planteado en el DB HR, el acondicionamiento acústico es un problema de la elección de los acabados de las superficies de los elementos constructivos.



El acondicionamiento acústico en la edificación, más concretamente en las salas, pretende mejorar el confort acústico en el interior de un recinto mediante la utilización de materiales acústicos que desempeñan las funciones de absorber, reflejar y dispersar el sonido.

Ejerciendo control sobre la energía absorbida, la reflejada, el tiempo de reverberación y la elección de los materiales, entre otras acciones, se lleva a cabo el acondicionamiento acústico.

## 1.1 Conceptos previos

### 1.1.1 Absorción de sonido

Cuando un foco sonoro emite energía acústica, las ondas sonoras se propagarán a partir de él al espacio si no encuentran ningún obstáculo en su camino, y si se encuentran algún objeto chocarán contra él y se reflejarán cambiando su dirección. Si el objeto es perfectamente rígido e impermeable al sonido no se producirá pérdida de energía en cada reflexión. Sin embargo, en la realidad, esta situación no se puede dar puesto que no existe el reflector perfecto, por lo que siempre habrá una vibración en la superficie por efecto de la onda incidente que permitirá la propagación de las ondas a su interior. Sea cual sea el proceso, el efecto será una pérdida de energía, en cuyo caso se dice que la energía ha sido absorbida por la superficie.

A partir de esta definición se diferencian los dos componentes del campo sonoro interior en un recinto:

- Campo sonoro directo, que es aquel que se produce por el sonido directo que va desde la fuente al observador. El nivel de presión sonora en campo directo disminuye a medida que se aumenta la distancia a la fuente, a razón de 6 dB al duplicar la distancia.
- Campo reverberante, que es el que crean las ondas que llegan al observador tras haber sufrido alguna reflexión. El campo reverberante está uniformemente distribuido en el espacio a partir de una determinada distancia desde la fuente sonora.

A la relación entre la energía absorbida por una superficie y la energía incidente, se llama coeficiente de absorción ( $\alpha$ ). Este coeficiente depende de la naturaleza del material, de la frecuencia de la onda sonora y del ángulo de incidencia de la onda sobre la superficie<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> El coeficiente de absorción sonora de un material se mide en cámara reverberante de acuerdo a la Norma UNE-EN ISO 354:2004 en el que se ofrece un valor promedio del coeficiente en todos los ángulos de incidencia para cada una de las frecuencias centrales en bandas de tercio de octava.

Conocido el coeficiente de absorción sonora de un material, se puede calcular finalmente el Área de Absorción ( $A$ )<sup>2</sup> como:

$$A = \sum_{i=1}^{i=n} (\alpha_i \cdot s_i) [m^2] \quad (1.1.1)$$

donde

$\alpha_i$  coeficiente de absorción sonora de la superficie “i”;

$s_i$  área que cubre la superficie “i”, en  $m^2$ .

### 1.1.2 Reverberación

La reverberación es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido que se puede definir como la persistencia del sonido una vez que la fuente sonora ha dejado de emitir, debida a las múltiples reflexiones del sonido en las superficies limítrofes.

Para determinar cómo es la reverberación de un determinado recinto se empleará el parámetro *Tiempo de Reverberación*<sup>3</sup>, que se define como el tiempo que tarda en reducirse la presión sonora a una millonésima parte del valor que tenía antes de cesar la emisión. Esto es equivalente a decir que es el tiempo en el que el nivel de presión sonora tarda en caer 60 dB respecto al nivel de presión sonora existente antes de la detención de la fuente.

En situaciones en las que el campo sonoro es altamente difuso, en el que la absorción no es elevada y la absorción de las distintas superficies es prácticamente la misma, se puede calcular el Tiempo de Reverberación de acuerdo a la fórmula de Sabine [1], dada en la ecuación (1.1.2).

---

<sup>2</sup> Habrá un valor de área de absorción para cada frecuencia.

<sup>3</sup> Habrá un valor de tiempo de reverberación para cada frecuencia.

$$T = \frac{0,161 V}{A} \quad (1.1.2)$$

donde

$V$  volumen de la sala, en  $\text{m}^3$ ;

$A$  área de absorción sonora, en  $\text{m}^2$ .

## 1.2 Materiales acústicos absorbentes

Los materiales acústicos se pueden dividir en tres grandes grupos dependiendo de la función específica que desempeñen. Estos pueden ser *Absorbentes*, *Reflectores* o *Difusores*.

En el presente proyecto se usa uno de los materiales utilizados para absorber el sonido, por lo tanto únicamente se describirá el grupo de los materiales absorbentes.

Aunque todos los materiales tienen asociada una cierta capacidad de absorción, se le da el término de materiales absorbentes a aquellos que están ideados específicamente para el revestimiento del interior de un recinto y absorber el sonido siguiendo alguno de estos criterios:

- Reducir el nivel reverberante en espacios especialmente ruidosos.
- Optimizar el tiempo de reverberación para adaptar el recinto a un uso específico.
- Eliminar la aparición de ecos molestos.

Otra de las funciones añadidas de los materiales absorbentes es que mejoran las propiedades de los materiales aislantes.

Una posible clasificación de los materiales absorbentes se muestra a continuación [2].

- Absorbentes porosos
  - poroso – rígidos
  - poroso – elásticos
- Materiales para argamasa
- Resonadores
  - Simple de cavidad (Resonador de Helmholtz)
  - Múltiples de cavidad mediante paneles perforados
  - Múltiples de cavidad mediante listones
  - De membrana o placa
- Mixtos: combinación de los anteriores y constituyen la mayoría de los materiales comerciales.
- “Anecoicos” de variación gradual de las características físicas por transmisión real o configuración geométrica.

A continuación se dará una breve descripción de cada uno de los materiales, de los cuales se desarrollará con más detalle los absorbentes porosos por ser los que se utilizan en este proyecto.

### **1.2.1 Absorbentes porosos**

Los materiales absorbentes acústicos porosos están constituidos por un medio sólido, esqueleto, recorrido por cavidades más o menos porosas comunicadas con el exterior del material. El ejemplo más conocido de este tipo de materiales acústicos es la lana de roca y la fibra de vidrio. Sin embargo, existe una amplia gama de los mismos.

En el caso de estos materiales la absorción acústica se produce por una doble pérdida energética de las ondas sonoras al chocar con el material, por un lado por la vibración de las fibras que componen el material y por otro por el rozamiento del aire con el esqueleto del material. En la Figura 1.1.1 se muestra de manera esquemática la absorción acústica de un material poroso.



Figura 1.1.1: Material absorbente poroso [3].

Justo en la pared rígida la amplitud de la presión es máxima, siendo en ese mismo punto donde se produce el mínimo de la amplitud de velocidad. A la distancia de la pared que coincide con un cuarto de la longitud de onda se produce un mínimo de presión y, por lo tanto, un máximo de la velocidad.

Dicho esto, si el espesor del material es tal que coincide con  $\lambda/4$  aumentará la eficacia de la absorción del material a la frecuencia asociada a esa longitud de onda.

De esto se deduce que los materiales porosos no son adecuados para absorber bajas frecuencias, ya que deberían ser de grosor muy elevado, cosa que resulta cara y poco práctica.

Normalmente estos materiales son buenos absorbentes acústicos de alta y media frecuencia. Sin embargo, la absorción por frecuencia sonora en estos materiales depende básicamente de los siguientes factores:

- Espesor del material

El espesor del material influye principalmente en la absorción en función de la frecuencia. Existe una regla que es aplicable a este hecho: a mayor espesor del material menor es la frecuencia a partir de la cual la absorción es mayor.

- Montaje

El montaje del material respecto a la superficie a tratar también influirá en su comportamiento. La distancia de montaje es crucial a la hora de proyectar absorbentes acústicos en cualquier proyecto de ingeniería acústica.

En el gráfico de la Figura 1.1.2 se compara la absorción de una lana de roca de 5 cm pegada a una superficie rígida y la misma lana de roca con un espacio de 5 cm. Se observa como al separar el material una distancia de 5 cm la frecuencia de máxima absorción baja en el espectro de absorción sonora de 800 Hz a 500 Hz.

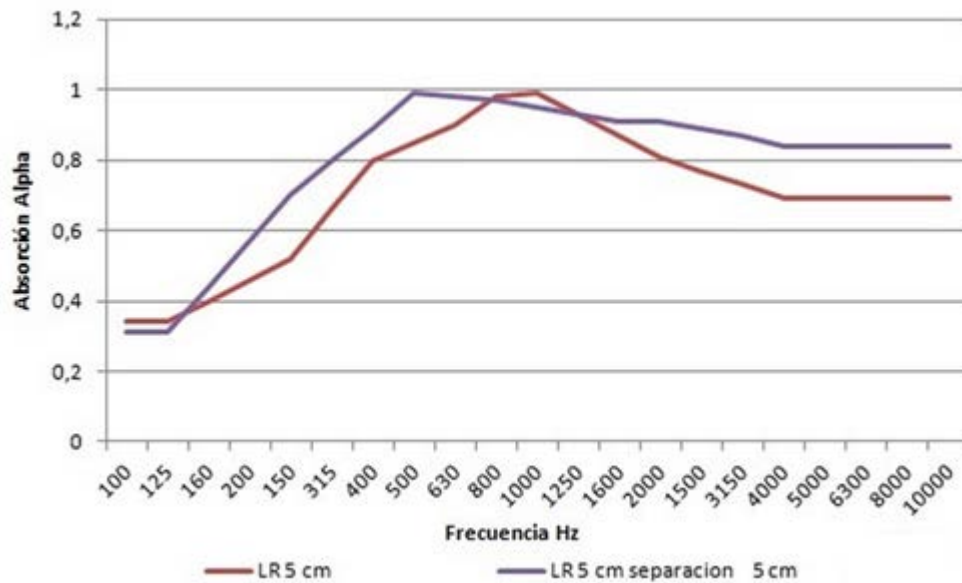


Figura 1.1.2: Comparación entre la absorción de un material pegado a la pared y la del mismo separado 5 cm [4].

No obstante, en la mayoría de casos, para absorber baja frecuencia resulta inviable realizar estos montajes por la evidente reducción del espacio, al menos en paredes.

- Porosidad del material y densidad

La porosidad del material y la densidad afectan a la absorción acústica en materiales porosos. Por un lado se sabe que, a mayor porosidad de un material, mayor es su absorción a todas las frecuencias. En el gráfico de la Figura 1.1.3 se muestra la variación de la absorción acústica según tres ratios de porosidad:

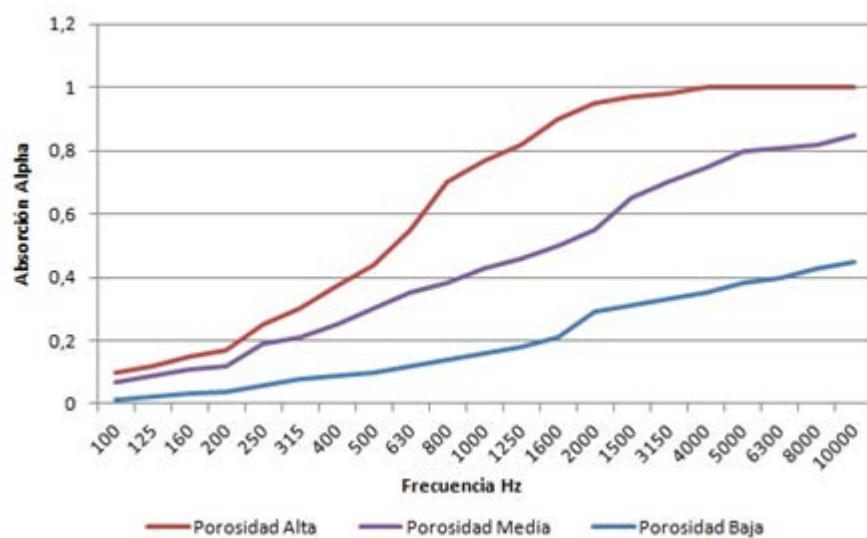


Figura 1.1.3: Variación de la absorción acústica en función de la porosidad [4].

La densidad del material resulta crucial a la hora de elegir un material absorbente acústico u otro. Si la densidad del material es baja, las pérdidas por fricción son menores y, en consecuencia, la absorción acústica disminuye en todo el rango espectral. Sin embargo, a medida que la densidad del material aumenta, la absorción también lo hace, hasta un valor límite de densidad en el que la penetración de las ondas acústicas empieza a disminuir haciendo que disminuya la absorción acústica. Desde un punto de vista práctico, las densidades que resultan óptimas varían entre los 40 y los 70  $\text{Kg/m}^3$ , no superando nunca los 100  $\text{Kg/m}^3$ . En la Figura 1.1.4 se muestra la absorción de una lana de roca de 40  $\text{Kg/m}^3$  y la absorción de una lana de roca de 70  $\text{Kg/m}^3$ , ambas de 60 mm de espesor.

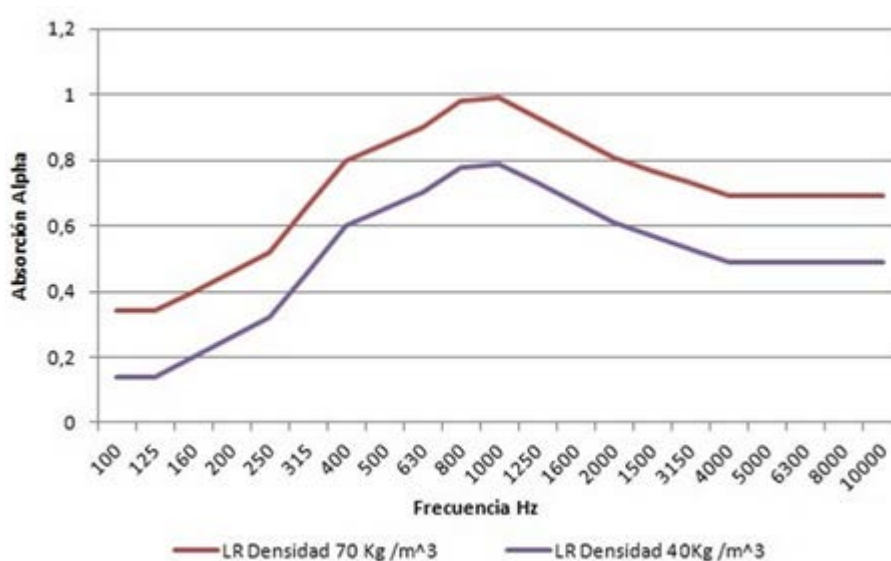


Figura 1.1.4: Absorción de un material con dos densidades distintas [4].

Los materiales absorbentes porosos se pueden dividir en:

- Poroso – rígido:

Se trata de yesos absorbentes del sonido. Se presentan en forma de paneles acústicos de fácil montaje, pues se colocan como techos suspendidos mediante elementos metálicos. En este tipo de materiales destacan las siguientes propiedades:

- A mayor espesor, mayor absorción acústica.
- El coeficiente de absorción es menor a bajas frecuencias.
- El espacio de aire entre el material y la pared rígida favorece un aumento en la absorción acústica.

Algunos ejemplos de este tipo de materiales son las losetas acústicas o bloques comprimidos de fibras con aglutinantes.

- Poroso – elásticos:

Son materiales que presentan un esqueleto elástico de tal modo que, además del aire que discurre por su interior, también el esqueleto está sujeto a vibraciones. Son materiales en los que aumenta la absorción sonora con el aumento de la frecuencia. Se ha comprobado que, cuanto mayor es la densidad, mayor es la absorción sonora, hasta cierto límite a partir del cual el material pasaría a comportarse como reflexivo.

También el espesor juega un papel importante, pues a mayor espesor, mejor es la absorción sonora a bajas frecuencias. Se dice que un absorbente poroso resulta efectivo cuando su espesor coincide con un cuarto de la longitud de onda ( $\lambda/4$ ).

Finalmente, cabe señalar que también se mejora la absorción a baja frecuencia al separarlo de la pared rígida.

### 1.2.2 Materiales para argamasa

Formados por una mezcla de materiales secos a los que se les añade un aglutinante líquido. También llamados “morteros acústicos”. Se aplican a una pared de cemento o de cualquier otro material, y se pueden superponer varias capas. Estos materiales consiguen un elevado coeficiente de absorción por encima de los 1000 Hz.

### 1.2.3 Resonadores

Los resonadores son absorbentes selectivos de forma que presentan un máximo en el coeficiente de absorción en la denominada frecuencia de resonancia.

Dicha frecuencia estará determinada por las características físicas del material, así como por su estructura y, normalmente, se ubica en la zona de frecuencias inferiores a 500Hz.

Su uso recorta la respuesta de la sala a estas frecuencias y reduce el tiempo de reverberación. Normalmente se emplean junto a materiales absorbentes aunque en determinadas aplicaciones pueden usarse por separado.

Los tipos de resonadores son:



### Simples de cavidad o resonador de Helmholtz

Consiste en un pequeño volumen de aire dentro de una cavidad en contacto con el aire del recinto, a través de una pequeña abertura que es el cuello del resonador.

El aire del cuello se mueve como una unidad, formando el elemento de masa, mientras que el aire de la cavidad se comporta como un muelle, formando ambos un sistema masa – resorte. Cuando la onda acústica incide sobre el cuello, hace que el aire en su interior vibre transmitiendo esta vibración al aire de la cavidad, que sufre compresiones y enrarecimientos, produciéndose así el fenómeno de la absorción.

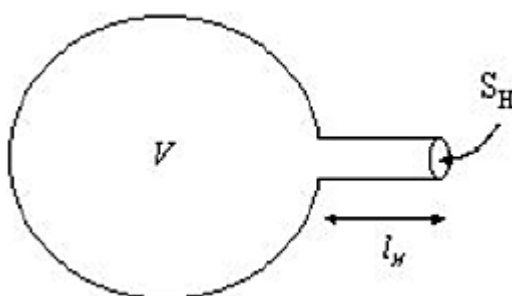


Figura 1.1.5: Resonador Helmholtz [5].

Todo esto forma un sistema resonante cuya frecuencia de resonancia  $f_0$  es a la que se produce el máximo de absorción. Se trata de un sistema muy selectivo con la frecuencia.

Para aumentar la banda de frecuencias en las que actúa se puede rellenar tanto el cuello como la cavidad de material poroso, pero hay que tener cuidado, ya que esto supone una reducción del valor máximo del coeficiente de absorción casi a la mitad.

Se suele aplicar para absorber la zona de frecuencias medias. Normalmente se colocan formando paneles ya que su tamaño es demasiado pequeño como para cubrir grandes áreas, como pueden ser paredes o techos.

Se deben cumplir ciertas restricciones en cuanto al diseño<sup>4</sup> del resonador, ya que podría convertirse en un sistema de reverberación artificial en vez de comportarse como sistema absorbente, que es lo que se pretende.

<sup>4</sup> No se proporcionan los datos y fórmulas referentes al diseño de este tipo de resonadores por estar fuera del alcance del proyecto.

### Sistemas de paneles perforados

Consiste en un panel no poroso a una cierta distancia de la pared. En la superficie del panel se realizan una serie de perforaciones de modo que crea cada una de ellas un resonador de Helmholtz, como el explicado anteriormente.

El tamaño de las perforaciones debe ser lo suficientemente pequeño en comparación con la longitud de onda del sonido que se desea amortiguar.

Este tipo de resonadores tiene un gran nivel de absorción en la gama de frecuencias medias. La amortiguación está determinada por el rozamiento del aire con las paredes de las perforaciones junto con desprendimiento de calor. Se puede aumentar el rango de frecuencias rellenando el interior con material poroso.

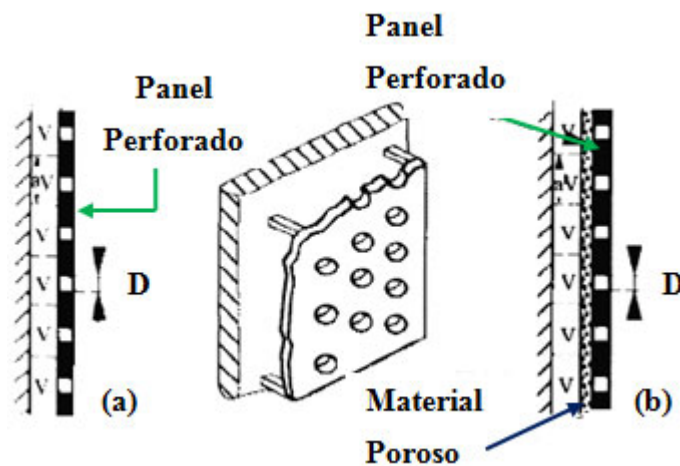


Figura 1.1.6: Panel perforado sin material poroso (a) y con material poroso (b).

Este tipo de paneles, aunque su funcionamiento es similar, presenta ciertas diferencias con el resonador unitario:

- El resonador de Helmholtz mueve una sola masa, mientras que el panel mueve tantas masas como agujeros tenga su superficie.
- Para que sea efectivo como absorbente, la distribución de los agujeros sobre la superficie debe ser uniforme y la distancia del panel a la pared constante.
- El panel debe estar completamente fijado a la pared para que no existan fugas.

### Sistemas a base de listones

Construidos con listones sobre un soporte colocado a cierta distancia de la pared y separados, formando ranuras.

El principio de funcionamiento es similar al de los paneles perforados con la diferencia de que aquí el hueco es una ranura, constituyendo así un tubo abierto para el flujo de aire. Esta peculiaridad dificulta la fase de diseño del mismo.

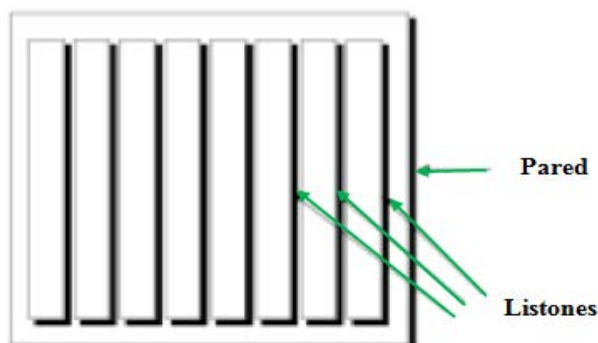


Figura 1.1.7: Esquema de un panel múltiple de cavidad a base de listones.

### Resonadores de membrana, placa o diafragmático

Se trata del sistema encargado de lidiar con las bajas frecuencias. Las ondas de baja frecuencia son ondas que transportan mucha energía y, por tanto, más difíciles de eliminar.

Estos sistemas están formados por un panel, generalmente de madera, sujeto a cierta distancia de una superficie rígida formando una cavidad, entre el panel y la pared, rellena de aire.

Cuando una onda sonora incide sobre el panel, éste entra en vibración como consecuencia de la excitación recibida. Dicha vibración, cuya amplitud depende de la frecuencia recibida y será mayor a la frecuencia de resonancia, provoca una deformación en el material y, por lo tanto, una pérdida de la energía sonora, que se disipa en forma de calor.

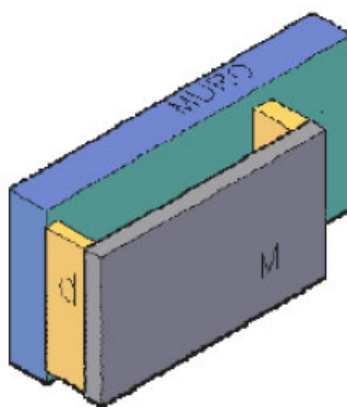


Figura 1.1.8: Resonador de membrana, placa o diafragmático [6].

## 2 Aislamiento

### 2.1 Legislación acústica en la edificación

#### 2.1.1 La NBE CA 88

En España, la norma que regulaba las condiciones acústicas mínimas exigibles a los edificios, adecuadas al uso y actividad de los ocupantes, era la Norma Básica de la Edificación NBE CA 88 Condiciones Acústicas en los Edificios.

La NBE CA 88 caracterizaba acústicamente a los edificios por el aislamiento de todos y cada uno de los elementos verticales y horizontales que conforman los diferentes espacios habitables interiores. Las instalaciones se caracterizaban por los niveles de ruido y vibraciones que producían en los locales del edificio bajo su influencia.

La NBE CA 88 establecía valores del aislamiento a ruido aéreo normalizado  $R$  para los diferentes elementos constructivos como particiones interiores, paredes separadoras de propiedades o usuarios distintos, paredes separadoras de zonas comunes interiores, fachadas, elementos horizontales de separación de propiedades o usuarios distintos, cubiertas, entre otros.

#### 2.1.2 El CTE. Documento básico DB HR: Protección frente al ruido.

El 28 de marzo de 2006 fue publicado en el BOE el RD 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. La entrada en vigor en su totalidad del Código Técnico de la Edificación (CTE) tuvo lugar con la terminación del periodo de aplicación voluntaria del DB HR Protección frente al ruido, ocurrida el 24 de abril de 2009, mediante el Real Decreto 1675/2008.

El CTE es el instrumento normativo que fija las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones, que permiten el cumplimiento de los requisitos básicos de la edificación establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, LOE, con el fin de garantizar la seguridad de las personas y de contribuir al bienestar de la sociedad, la sostenibilidad de la edificación y la protección del medio ambiente.

El CTE tiene un enfoque basado en el concepto de prestaciones u objetivos, en el que se establecen explícitamente los objetivos y el modo de alcanzarlos, sin obligar al uso de un procedimiento o solución determinados, lo que permite la innovación y el desarrollo tecnológico. Este enfoque es totalmente diferente al de las NBE, de carácter prescriptivo, mediante procedimientos aceptados o guías técnicas.

El CTE se divide en dos partes de carácter reglamentario. En la primera se recogen las disposiciones de carácter general y los objetivos a alcanzar. Asimismo, se prescriben las Exigencias Básicas que deben satisfacerse en los edificios para alcanzar los objetivos. La segunda parte está constituida por los Documentos Básicos, DB, cuya adecuada utilización garantiza el cumplimiento de las Exigencias Básicas.

Los DB que componen el CTE son los Básicos de Seguridad y los Básicos de Habitabilidad. Entre estos últimos se encuentra el DB HR Protección frente al ruido.

La Norma Básica NBE CA 88 será derogada y sustituida por el documento básico DB HR Protección frente al ruido dentro del nuevo Código Técnico de la Edificación, CTE. Según el DB HR se entiende que los edificios deben proyectarse, construirse y mantenerse, de tal forma que los usuarios estén protegidos frente a:

- Los ruidos aéreo y de impactos procedentes de otras unidades de uso, zonas comunes de la edificación, recintos de instalaciones, recintos de actividad y del exterior.
- El ruido reverberante excesivo en comedores, restaurantes, aulas y salas de conferencias de un volumen inferior a 350 m<sup>3</sup>.
- El ruido excesivo en las zonas comunes de los edificios.
- Los ruidos y las vibraciones procedentes de instalaciones del edificio.

## 2.2 Diferencia entre aislamiento acústico “*in situ*” y en laboratorio

El aislamiento acústico exigido en el Documento Básico HR Protección frente al ruido [7] es el aislamiento final en la edificación o aislamiento acústico “*in situ*”. Los índices que expresan dicho aislamiento acústico son magnitudes que pueden obtenerse en el edificio terminado mediante un ensayo de aislamiento acústico normalizado<sup>5</sup>, y el valor de esta medición es directamente comparable con el de la exigencia.

El aislamiento acústico a ruido aéreo está definido en el DB HR como la diferencia de niveles estandarizada ponderada A,  $D_{nT,A}$ , que es un índice que evalúa el aislamiento a ruido aéreo entre recintos y no únicamente el aislamiento de los elementos constructivos que se interponen entre ellos. Lo mismo sucede con el aislamiento a ruido de impactos, que está definido como el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado,  $L'_{nT,w}$ , que también evalúa el nivel de presión de ruido de impactos entre recintos y no únicamente el del forjado<sup>6</sup>.

El aislamiento exigido en la Norma Básica de Condiciones Acústicas NBE CA 8 8 correspondía con el valor obtenido en laboratorio de los elementos constructivos. Para ruido aéreo se trataba del índice de reducción acústica ponderado A,  $R_A$  y, para ruido de impactos, del nivel de presión de ruido de impactos de laboratorio,  $L_n$ . (Véase Tabla 1.2.1).

Tabla 1.2.1: Resumen de índices de aislamiento utilizados en el DB HR.

	ÍNDICES DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	
	En el edificio	De elementos constructivos
<b>Ruido aéreo entre recintos</b>	$D_{nT,A}$ [dBA]	$R_A$ [dBA]
<b>Ruido de impactos</b>	$L'_{nT,w}$ [dB]	$L_{n,w}$ [dB]
<b>Ruido aéreo entre un recinto y el exterior</b>	$D_{2m,nT,A,tr}$ [dBA]	$R_{A,tr}$ [dBA]
<b>Ensayo</b>	Se puede ensayar “ <i>in situ</i> ”	No se pueden ensayar “ <i>in situ</i> ”. Son índices obtenidos en laboratorio.

<sup>5</sup> Norma UNE EN 140-4, para medición “*in situ*” del aislamiento al ruido aéreo entre locales  
Norma UNE EN 140-5, para la medición “*in situ*” del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada y de fachadas.  
Norma UNE EN 140-7, para la medición “*in situ*” del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.

<sup>6</sup> Es la parte resistente de la cubierta o del elemento horizontal de separación entre los recintos.

Para cualquier elemento constructivo, su aislamiento acústico final en obra (al que hace referencia el DB HR), difiere del valor obtenido en laboratorio (al que hacía referencia la NBE CA 88). Esto se debe a que, en obra, la transmisión de ruido entre dos recintos (o desde el exterior) se produce por dos vías. De forma muy simplificada puede decirse que la transmisión se produce:

- Por vía directa, a través del elemento constructivo de separación. Esta transmisión depende básicamente del tipo de elemento constructivo y es lo que realmente se mide en laboratorio, ya que allí las transmisiones indirectas son despreciables.
- Por vía indirecta o de flancos, debido a las vibraciones de los elementos de flanco conectados al elemento de separación principal.

En la Figura 1.2.1 se muestra esquemáticamente las vías de transmisión acústica de ruido aéreo entre dos recintos.

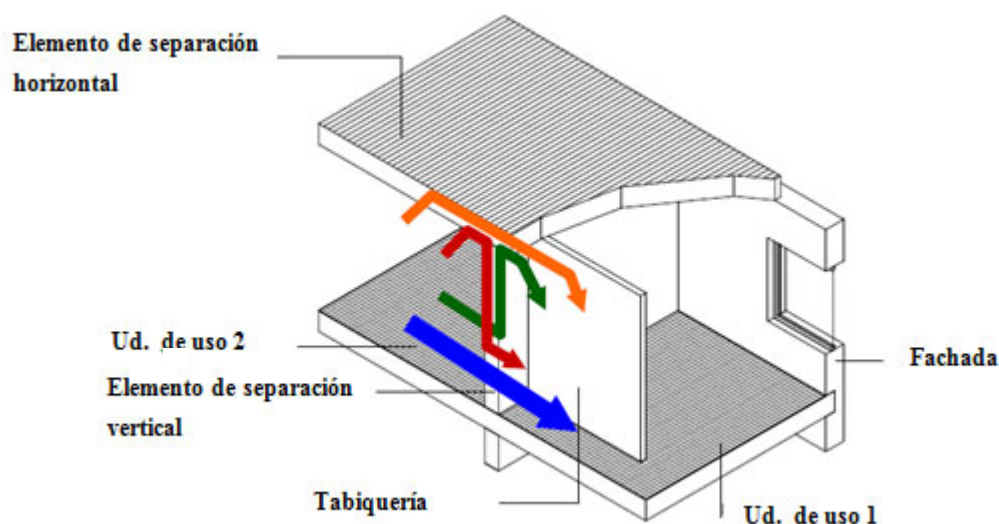


Figura 1.2.1: Esquema de vías de transmisión acústica a ruido aéreo entre dos recintos [8].

En azul se indica la transmisión directa, a través del elemento de separación vertical.

En otros colores se han indicado las transmisiones indirectas o de flancos:

- En naranja la transmisión de flanco a flanco, en este caso a través del forjado.
- En rojo, la transmisión flanco-directo, desde el forjado al elemento de separación vertical.
- En verde la transmisión directa-flanco, desde el elemento de separación vertical al forjado.

Para un mismo elemento constructivo, el aislamiento obtenido “*in situ*”, siempre es menor que el aislamiento teórico o de laboratorio.

Para conseguir un determinado valor de aislamiento acústico entre recintos “*in situ*” ( $D_{nT,A}$ ,  $L'_{nT,w}$ ,  $D_{2m,nT,A,tr}$ ) no es suficiente que los elementos de separación entre los mismos tengan un valor de aislamiento acústico en laboratorio ( $R_A$ ,  $L_n$  o  $R_{A,tr}$ ) igual a dicho valor, sino que tiene que ser necesariamente superior. La diferencia, derivada de la transmisión por flancos, viene condicionada por las características constructivas y geométricas de los elementos de separación, el tipo de conexión entre los mismos y las características geométricas del recinto. Dicha diferencia puede variar sensiblemente en función de los tipos constructivos, pero, de modo orientativo, puede decirse que en edificación convencional es generalmente superior a 5 dBA.

Por ello, la falta de correlación entre los valores de aislamiento acústico medidos “*in situ*” y los valores de aislamiento previstos en la Norma Básica NBE CA 88, está justificada, dado que se están comparando valores que no representan lo mismo.

También debe destacarse que el aislamiento acústico entre recintos depende del conjunto, y no sólo del elemento de separación entre ambos, por lo que, en algunas ocasiones, cuando existan flancos de menor aislamiento, la mejora del elemento de separación puede no suponer una mejora sensible del aislamiento, si no se elimina o mejora la vía de transmisión indirecta que está penalizando el aislamiento acústico.

Además de las transmisiones por vía indirecta, existen otros motivos por los cuales el aislamiento acústico proporcionado por un elemento constructivo en el edificio terminado puede ser menor que el proporcionado por el mismo en laboratorio, como son:

- Defectos en la ejecución: como por ejemplo la presencia de rozas sin retacar en los elementos de fábrica, la falta de estanqueidad en la puesta en obra de las carpinterías, discontinuidades del material aislante a ruido de impactos, etc.
- La existencia de puentes acústicos: como por ejemplo, los debidos a encuentros mal diseñados o ejecutados incorrectamente, o a conductos de instalaciones que no se han tratado convenientemente.

Para prevenir que el aislamiento acústico pueda verse influido por alguna de las dos causas mencionadas en el párrafo anterior, es fundamental un buen diseño de los encuentros constructivos desde el proyecto de ejecución y una buena ejecución.



## 2.3 Las magnitudes de aislamiento acústico. Relaciones entre índices

La respuesta de los elementos constructivos frente al sonido varía en función de la frecuencia, es decir, en una medida de aislamiento acústico, se obtienen diferentes valores de aislamiento para cada una de las frecuencias de tercio de octava.

Desde el punto de vista del DB HR, sólo se utilizan valores globales de aislamiento, es decir, un valor ponderado que resume la información obtenida en un ensayo, tanto si es un ensayo “*in situ*”, como si se realiza en laboratorio.

Para aislamiento a ruido aéreo entre recintos se utiliza la ponderación A, que tiene en cuenta la sensibilidad del oído humano, dando mayor relevancia a las altas y medias frecuencias, que a las bajas frecuencias.

Esta ponderación se utiliza tanto para los índices que expresan el aislamiento “*in situ*”, como los que lo expresan en laboratorio.

Para aislamiento a ruido aéreo de fachadas o de recintos frente al ruido exterior, se utilizan las curvas de referencia de ruido de tráfico, ya que en la mayoría de los casos va a ser el ruido dominante en el exterior.

En los ensayos a ruido aéreo generalmente se va a encontrar la información expresada mediante tres valores, que no son otros que índices ponderados con la UNE EN ISO 717-1 y sus correspondientes términos de adaptación espectral:

- $R_w(C, C_{tr})$ , para elementos constructivos ensayados en laboratorio.
- $D_{nT,w}(C, C_{tr})$ , para ensayos “*in situ*” a ruido aéreo.
- $D_{2m,nT,A,tr}(C, C_{tr})$ , para ensayos “*in situ*” de fachadas.



# Capítulo 2

## Sistema de adquisición NetdB

---



## Introducción

NetdB es un sistema de adquisición, de 01dB –Metravib, que posee un frontal con 12 canales, dedicado a aplicaciones de acústica y vibraciones tales como grabación de señales, análisis de frecuencia, potencia acústica, intensidad acústica, calidad acústica y holografías.

Está basado en la tecnología Ethernet, permitiendo la sincronización entre el ordenador y uno o varios sistemas NetdB. El proceso de sincronización de datos está patentado y permite grabar en tiempo real sin pérdida de datos cuando varios sistemas NetdB están encadenados.

En la Figura 2.0.1 se muestra el panel frontal.



Figura 2.0.1: Panel frontal del sistema de adquisición NetdB.

Los conectores de los canales de entrada y de los canales de salida son del tipo BNC, el conector del canal de salida para auriculares es Jack y el conector del canal de salida alternativo es SPDIF.

En la Figura 2.0.2 se muestra el panel posterior.



Figura 2.0.2: Panel posterior del sistema de adquisición NetdB.

El conector para la fuente de alimentación es XLR y los conectores para la red son de tipo Ethernet.

## 1 Conexionado

Para iniciar el sistema NetdB, en primer lugar hay que conectar la fuente de alimentación AC a la unidad de adquisición. Esta conexión se realiza mediante un cable que en un extremo tenga la toma de corriente y en el otro tenga un conector XLR. Se encenderá la luz naranja (*AC Charge*). Cuando esta luz naranja parpadea significa que la batería interna está cargándose.

Una vez conectado el equipo a la fuente de alimentación, se procede a conectarlo con el ordenador. Esta conexión se realiza conectando un extremo de un cable Ethernet a la salida llamada *Previous*, situada en el panel posterior del equipo, y el otro extremo a la entrada de red del ordenador. El conector de *Previous* tiene un indicador en su interior, que, cuando se enciende con una luz de color verde, indica que la configuración del hardware es correcta y que la comunicación entre el equipo y el ordenador es posible.

Este conexionado se muestra en la Figura 2.1.1.



Figura 2.1.1: Conexionado del equipo a la fuente de alimentación y al ordenador.

A continuación se pulsa el interruptor *On/Off* para encender el equipo. Se encenderá el indicador de *On* con una luz verde. Comenzará la iniciación del sistema, que no se dará por concluida hasta que el indicador de *Trig* se ponga verde.

## 2 Configuración

### 2.1 Configuración de la red

La configuración de la red permitirá la comunicación entre NetdB y el ordenador a través de la conexión Ethernet (conector RJ45). Esta configuración se debe realizar en el ordenador con la ayuda de las herramientas de configuración de red de Windows. La forma más fácil es modificar las propiedades de una red existente (la conexión habitual a internet TCP / IP, por ejemplo) por lo que no se podrá usar cuando NetdB esté conectado al ordenador.

Los pasos para configurar la red se detallan a continuación:

- En el ordenador, en la ventana de *Propiedades de red* de Windows, se selecciona el protocolo TCP / IP y se pulsa el botón de *propiedades* para modificar una red ya existente con una conexión similar.
- Se define una nueva dirección IP. Los tres primeros campos de esta nueva dirección deben ser necesariamente 192.168.1.X. El último campo, X, puede ser cualquier número comprendido entre 1 y 254 exceptuando el 2. La máscara de subred se actualizará automáticamente, apareciendo la dirección 255.255.255.0.

La red de NetdB está ahora configurada.

### 2.2 Verificación del estado de la red

Se enciende el ordenador y el sistema de adquisición NetdB de 01 dB –Metravib.

Es necesario comprobar que el sistema de adquisición está correctamente comunicado con el ordenador. Para ello se siguen los pasos que se detallan a continuación, teniendo en cuenta que la red ha sido ya configurada como se ha indicado en 2.1 *Configuración de la red*.

- En el menú *Inicio* de Windows se selecciona la opción *Ejecutar*. Aparecerá una ventana con una barra de texto, y en ella se escribe el comando *cmd*.
- Al aceptar se abrirá una ventana de comandos de MSDOS. En ella se debe escribir el comando *ping* seguido de la dirección de la red TCP / IP. Esto es:

```
> ping 192.168.1.2
```

Los mensajes que aparecen en la ventana de MSDOS indican el estado de la red: número de bytes enviados y recibidos a través de la red.

Estos pasos se representan en la Figura 2.2.1.

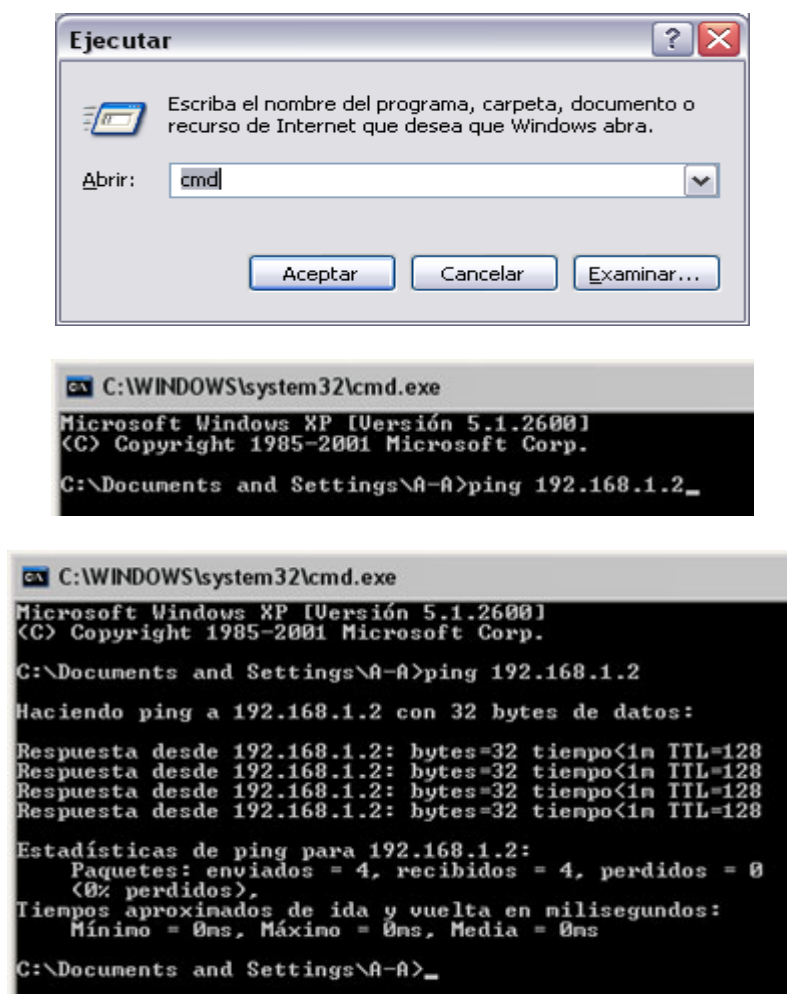


Figura 2.2.1: Verificación de estado del sistema de adquisición NetdB de 01 dB –Metravib.

Una vez verificado que el ordenador está perfectamente comunicado con el sistema de adquisición se procede a la configuración del módulo de procesamiento dBBATI32 para realizar las medidas.



## 2.3 Adquisición de hardware

Abrir la aplicación dBCONFIG, perteneciente al paquete dBBATI32 de 01 dB –Metravib. Aparecerá una ventana como la que se muestra en la Figura 2.2.2.



Figura 2.2.2 Ventana principal de la aplicación dBCONFIG.

Se deben seguir los siguientes pasos para completar la adquisición de hardware:

- Seleccionar la opción *Plataforma de Hardware*. En la base de datos se debe marcar NetdB como se indica en la Figura 2.2.3.

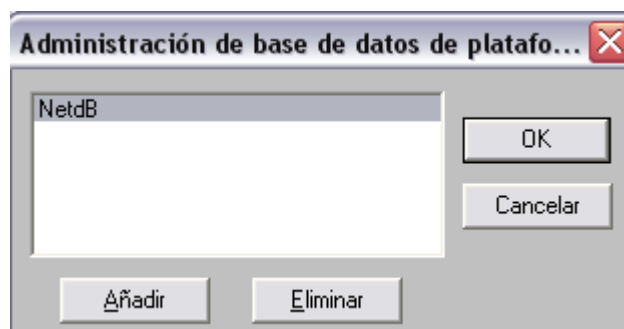


Figura 2.2.3: Selección de la base de datos.

- Hacer clic en la pestaña *Transductores*. Se abrirá una ventana como la que aparece en la Figura 2.2.4.



Figura 2.2.4 Administración de la base de datos de transductores.

Se selecciona la opción *Añadir* y, en la ventana que aparece, se introducen las características del transductor que se vaya a utilizar en la práctica.



Figura 2.2.5: Ventana de inserción de las características del transductor.

Se ha de tener en cuenta que los micrófonos de los que se dispone son del fabricante AVM, que es una firma alemana que diseña y fabrica micrófonos de 1/4" de clase 1, ICP (IEPE, CCP), con una sensibilidad de aproximadamente 50 mV/Pa.

El aspecto de los micrófonos que se usan en esta práctica es el que se muestra en la Figura 2.2.6.



Figura 2.2.6: Micrófono 1/4" del fabricante AVM.

El preamplificador de estos micrófonos es un circuito integrado que se denomina ICP (*Integrated Circuit Piezoelectric*). Es un dispositivo que se puede utilizar para medir la presión dinámica, la fuerza, la tensión, o la aceleración. Contiene un elemento de detección hecho de un material piezoeléctrico, que convierte la tensión mecánica en una señal eléctrica, y un circuito electrónico para amplificar esta señal y transmitirla a un dispositivo de grabación externo. ICP es una marca registrada de PCB Group, Inc., la compañía matriz de PCB Piezotronics. Hay una norma no propietaria similar llamada IEPE (*Integrated Electronics Piezoelectric*).

En un sensor de ICP, la electrónica integrada convierte la señal de salida de alta impedancia generada por el elemento sensor piezoeléctrico en una señal de voltaje de baja impedancia utilizable, que puede ser transmitida fácilmente por un cable ordinario de dos hilos o por un cable coaxial, a cualquier lector de tensión o dispositivo de grabación.

El circuito integrado es alimentado por una fuente de corriente constante. Esta fuente de corriente constante puede ser parte del instrumento o una unidad separada. Esta fuente de energía es a veces incorporada en medidores de vibración, analizadores FFT, y colectores de datos de vibración.

En este caso, el sistema de adquisición NetdB puede proporcionar esta alimentación de corriente continua. Para seleccionar la alimentación se hace clic en la pestaña *Otros*, que aparece en la Figura 2.2.5. Se abrirá una ventana como la que aparece en la Figura 2.2.7. En ella se marca la pestaña *ICP*. A continuación, el NetdB entregará 4 mA / 24 V para alimentar el preamplificador del micrófono.

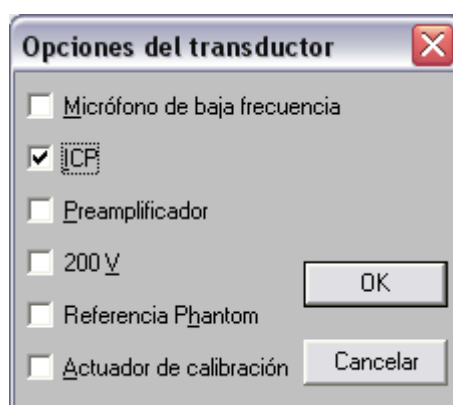


Figura 2.2.7: Ventana de selección de alimentación de micrófono.

Tras pulsar *OK*, se vuelve a la ventana de inserción de las características. Se vuelve a pulsar *OK* en la ventana que se muestra en la Figura 2.2.5 y aparece la ventana que se muestra en la Figura 2.2.8.



Figura 2.2.8: Base de datos de transductores.

Si se quieren añadir más micrófonos se vuelve a repetir el proceso que se acaba de describir. Una vez terminado el proceso se pulsa *OK* y aparece la ventana principal de la Figura 2.2.2.

- Se selecciona la pestaña *Calibradores*. Se abrirá una ventana como la que se muestra en la Figura 2.2.9.

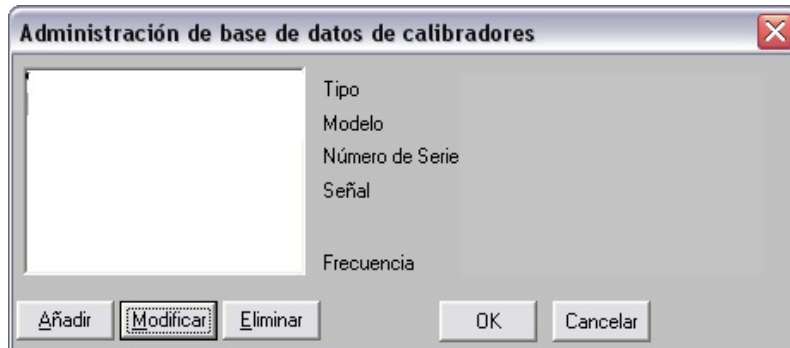



Figura 2.2.9: Administración de base de datos de calibradores.

Se pulsa la pestaña *Añadir*. Se abrirá una ventana como la que aparece en la Figura 2.2.10. En esa ventana se introducen las características del calibrador que se va a utilizar para calibrar los micrófonos que se hayan introducido en el apartado de transductores.



La imagen muestra una ventana de diálogo titulada "Características del calibrador". Contiene los siguientes campos:

- Tipo:** Presión (seleccionado en un menú desplegable)
- Modelo:** Cal001
- No. serie:** 11565
- Etiqueta:** Cal001
- Señal RMS:** 1.000e+00 Pa (seleccionado en un menú desplegable)
- Frecuencia:** 1000 Hz
- Referencia:** 2.000e-05 Pa (seleccionado en un menú desplegable)

En la esquina superior derecha hay un botón "OK" y en la inferior derecha un botón "Cancelar".

Figura 2.2.10: Ventana de inserción de las características del calibrador.

Una vez introducidos estos datos se pulsa *OK* y se vuelve a la ventana principal mostrada en la Figura 2.2.2.

- En la ventana principal se pulsa la pestaña *Salir*.

Se puede dar por concluida la adquisición de hardware.

## 2.4 Configuración de hardware

Abrir la aplicación dBBati perteneciente al paquete dBBATI32 de 01 dB –Metravib. En la barra de herramientas se selecciona la pestaña *Adquisición* y en ella se selecciona *Configuración de Hardware*. Se abrirá una ventana como la que se muestra en la Figura 2.2.11.



Figura 2.2.11: Ventana principal de configuración del hardware.

A continuación se deben seguir los siguientes pasos:


- En la pestaña de *Hardware* se pulsa el botón , y se selecciona NetdB como plataforma.
- Se hace clic en *Transductor*, y se abrirá la tabla de transductores que aparece en la Figura 2.2.12, con los transductores que previamente se hayan definido en el apartado *Adquisición de hardware*. Se elige el transductor que se quiere asignar al canal que está siendo configurado.



Figura 2.2.12: Tabla de transductores.

Se concluye pulsando *OK*, y reaparece la ventana mostrada en la Figura 2.2.11, incluyendo el transductor elegido en el canal deseado.

- Se hace clic ahora sobre la pestaña *Calibradores*. Se abrirá una tabla con los calibradores como la que se muestra en la Figura 2.2.13. Se elige el calibrador con el que se vaya a calibrar el transductor asignado al canal que se está configurando.

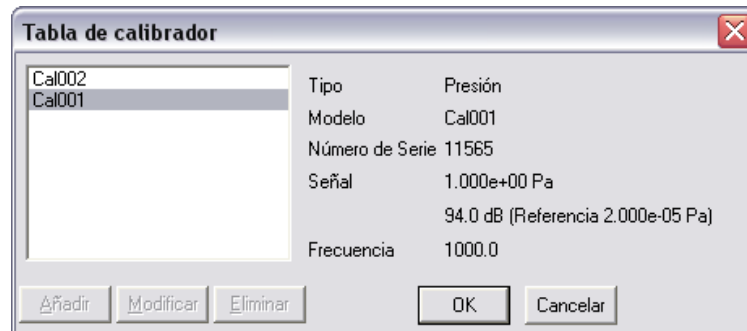


Figura 2.2.13: Tabla de calibradores.

Se pulsa la tecla *OK* para terminar la selección del calibrador.

- Para activar o desactivar el canal es necesario pulsar el botón *Activar*. Cuando se active aparecerá marcado con una X que indica que un canal está activo.
- Pulsar el botón *Guardar como* para guardar la configuración que se acaba de realizar y así poder utilizarla en cualquier momento.

Una vez terminado el proceso la ventana principal debe quedar como se muestra en la Figura 2.2.14.



Figura 2.2.14: Ventana de configuración de hardware.

## 2.5 Calibración

Una vez configurado el hardware que se va a utilizar es necesario proceder a la calibración de los transductores. Para ello se pulsa la pestaña de *Adquisición* en la barra de herramientas de la ventana principal de dBati, y se selecciona *Calibración*, tal y como se muestra en la Figura 2.2.15.

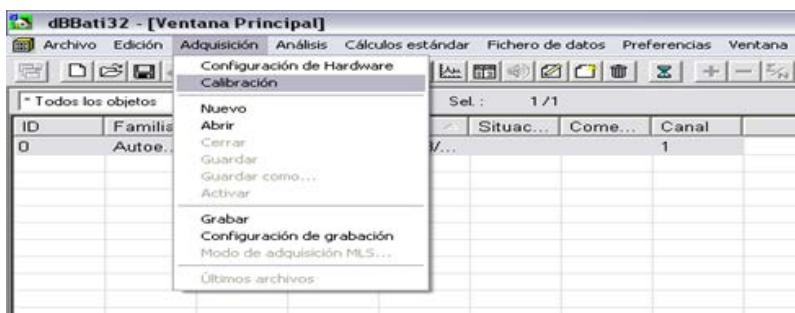


Figura 2.2.15: Calibración.

A continuación aparecerá una ventana como la que aparece en la Figura 2.2.16.



Figura 2.2.16: Calibración.

Se debe colocar ahora el calibrador en el micrófono que se va a utilizar y apoyarlo sobre una superficie lisa, de manera que el montaje se mantenga estable. A continuación se pulsa el botón *Ejecutar*.

Cuando se alcance un nivel de 94,0 dB, que es el nivel que nos proporciona el calibrador (puede ser diferente de 94,0 dB), se pulsa la tecla *Válido*, tal y como se muestra en la Figura 2.2.17.





Figura 2.2.17: Calibración

Con esto concluye el proceso de calibración. Es necesario calibrar todos los micrófonos que se vayan a utilizar antes de cada medida. El calibrador que se utiliza para los micrófonos AVM es el que se muestra en la Figura 2.2.18.



Figura 2.2.18: Calibrador empleado para micrófonos AVM.

En los laboratorios acreditados por ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) el sistema de medida está sometido a un proceso de calibraciones externas. En este caso el proceso descrito como ‘calibración’ se sustituye por un proceso de ‘verificación’.

Una vez realizada esta configuración, se puede comenzar a medir.



# Capítulo 3

Medidas realizadas

---



## 1 Medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios

### 1.1 Objetivo

En esta práctica se medirá el tiempo de reverberación de un recinto aplicando el método que impone la Norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 [9]. Para realizar las medidas se empleará el sistema de adquisición NetdB y el programa de procesamiento dBBATI32, de 01dB –Metravib, homologado como sonómetro tipo 1, según la Norma IEC 645.

Como objetivo final se obtendrá una tabla, en tercios de octava, representativa del tiempo de reverberación de la sala estudiada, y para ello será necesario aplicar el proceso de medida sobre varios puntos del interior de la sala.

### 1.2 Procedimiento de medida

#### 1.2.1 Equipos utilizados

- Ordenador
- Sistema NetdB 01dB –Metravib
- Programa de procesamiento dBBATI32
- Generador dBGene de dBFA.
- Cámara reverberante
- Micrófono de  $\frac{1}{4}$  " AVM, modelo MI17
- Fuente dodecaédrica AVM, modelo DO12
- Amplificador de potencia INTER-M, modelo M700
- Calibrador sonoro 01dB, modelo Cal01
- Medidor de condiciones ambientales VelociCalc plus, TSI

A parte de los elementos citados se utilizará un pie para sujetar el micrófono y un pie especial para sustentar el altavoz.

### 1.2.2 Conexión entre equipos

La medida se realizará con el sistema NetdB, que se encuentra conectado a un ordenador de sobremesa mediante un cable Ethernet.

A la entrada de la unidad se conecta el micrófono. A la salida del ordenador se conecta el amplificador, que enviará la señal para excitar la fuente, cuando sea necesario. Ambos, micrófono y fuente sonora están ubicados en el interior de la cámara reverberante.

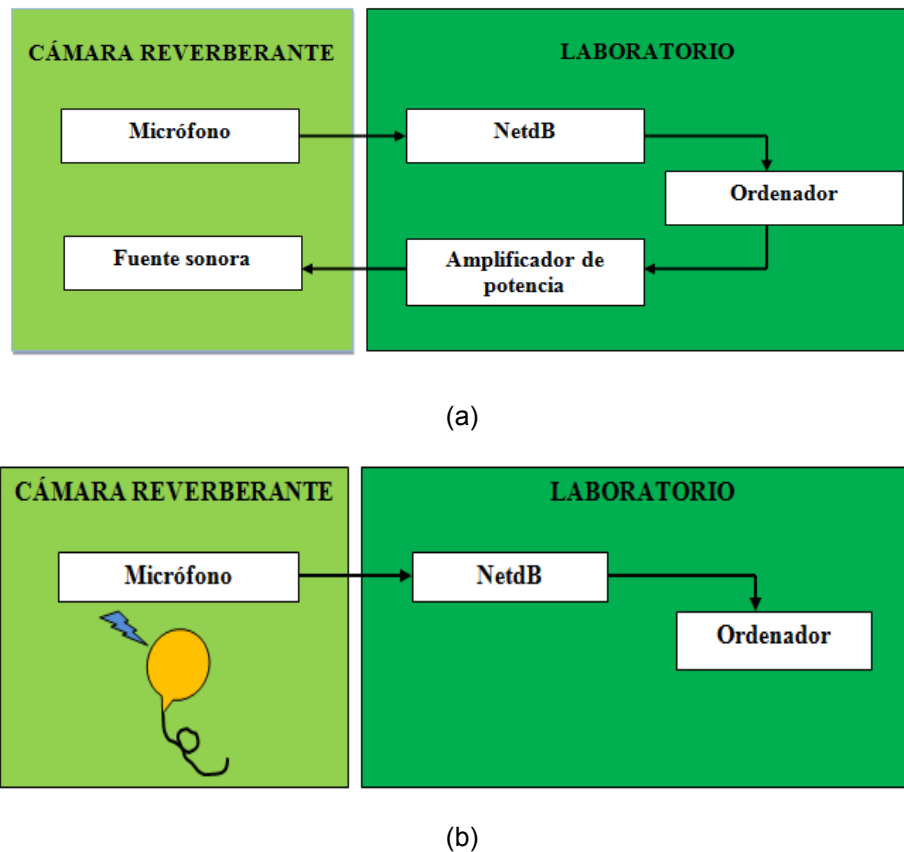


Figura 3.1.1: Diagramas de conexionado de los equipos empleados en las medidas del tiempo de reverberación: (a) Ruido interrumpido, (b) Respuesta impulsiva.

### 1.2.3 Ensayo según norma

La medida del tiempo de reverberación en un recinto ordinario se realiza de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 3382-2 [9], versión oficial en castellano de la Norma Europea EN ISO 3382-2:2008, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 3382-2:2008.

La normativa impone las condiciones a cumplir si se desean homologar las medidas en un recinto ordinario. Estas condiciones afectan a los instrumentos de medida y su colocación, la forma de adquirir los datos y su presentación.

Seguidamente se detallan tales condiciones a cumplir para obtener unos resultados apropiados.

## CONDICIONES DE MEDICIÓN

### Rango de frecuencias

Las frecuencias en las que hay que realizar las medidas son en bandas de tercio de octava con las frecuencias centrales, en hercios, que especifica la Norma ISO 266:

100	125	160	200	250	315	400	500	630
800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000

La Norma ISO 266 contempla la posibilidad de realizar medidas en tercios de octava fuera de este rango de frecuencias. La principal limitación se encuentra por debajo de los 100 Hz, ya que podrían obtenerse resultados imprecisos debido a la baja densidad modal de la cámara.

### Recinto

El tiempo de reverberación puede verse influenciado por el número de personas presentes en el recinto. Las mediciones del tiempo de reverberación se deberían realizar en un recinto sin personas.

### Temperatura y humedad relativa

Las variaciones de temperatura y humedad durante el transcurso de una medición del tiempo de reverberación pueden afectar a los resultados obtenidos, especialmente en altas frecuencias y con humedades relativas bajas. Estas cantidades de variación se dan en la Norma ISO 9613-1 [10].

En recintos grandes<sup>7</sup>, la atenuación por el aire puede contribuir de manera significativa a la absorción acústica a frecuencias elevadas. Para medidas de precisión se debe medir la temperatura y humedad relativa del aire en el recinto.

La importancia de la contribución de la absorción del aire es baja si el tiempo de reverberación es inferior a 1,5 s a 2 kHz e inferior a 0,8 s a 4 kHz. En este caso no es necesario medir la temperatura y la humedad relativa.

<sup>7</sup> Recintos con volumen superior a 300 m<sup>3</sup>.

## Equipo

- Fuente acústica

Debería ser lo más omnidireccional posible. Para mediciones de ingeniería no existen requisitos específicos para la directividad. Debe producir un nivel de presión acústica suficiente para generar curvas de decrecimiento con el rango dinámico mínimo requerido sin contaminación por ruido de fondo.

- Micrófonos y equipo de análisis

Se deben utilizar micrófonos omnidireccionales para detectar la presión acústica y la salida se puede conectar, o bien directamente a un amplificador, un conjunto de filtros y un sistema donde se muestren las curvas de decrecimiento, o bien a un registrador de señal para un análisis posterior.

- Micrófono: debería ser lo más pequeño posible.
- Equipo de conformación del registro del decrecimiento de nivel: debe utilizar alguno de los siguientes elementos:
  - a) Promediado exponencial con curva continua como salida;
  - b) Promediado exponencial con puntos de muestreo discreto sucesivos, a partir del promedio continuo como salida;
  - c) Promediado lineal, con promedios lineales discretos sucesivos como salida.

El tiempo de promediado, es decir, la constante de tiempo de un dispositivo promediador exponencial debe ser inferior pero lo más cercano a  $T/30$ . En un dispositivo promediador lineal el tiempo de promediado debe ser inferior a  $T/12$ . Aquí,  $T$  es el tiempo de reverberación que se está midiendo.

- Sobresaturación: no se debe admitir sobresaturación en ninguna fase del equipo de medición. Cuando se utilizan fuentes acústicas impulsivas se deben utilizar dispositivos indicadores de niveles de pico.



### Posiciones de medición

El número mínimo de posiciones de medición (mediciones de ingeniería) para obtener una cobertura adecuada en un recinto se indica en la Tabla 3.1.1.

Tabla 3.1.1: Números mínimos de posiciones y mediciones.

	Ingeniería
Combinaciones fuente – micrófono	6
Posiciones de la fuente	$\geq 2$
Posiciones de micrófono	$\geq 2$
Número de decrecimientos en cada posición (método de ruido interrumpido)	2

Las posiciones de la fuente pueden ser las posiciones normales en función del uso del recinto.

Las posiciones del micrófono deben estar preferiblemente separadas al menos media longitud de onda, es decir, a una distancia mínima de 2 m para el rango de frecuencias habitual.

La distancia desde cualquier posición de micrófono a la superficie reflectante más cercana, incluyendo el suelo, debería ser preferiblemente al menos un cuarto de longitud de onda, es decir, generalmente, en torno a 1 m. Se deberían evitar las posiciones simétricas.

Ninguna posición de micrófono debe estar muy próxima a la posición de la fuente, para evitar una influencia demasiado fuerte del sonido directo. La distancia mínima,  $d_{min}$ , en metros, se puede calcular a partir de la ecuación (3.1.1):

$$d_{min} = 2 \sqrt{\frac{V}{cT'}} [m] \quad (3.1.1)$$

donde

$V$  es el volumen, en metros cúbicos;

$c$  es la velocidad del sonido, en metros por segundo;

$T'$  es una estimación del tiempo de reverberación esperado, en segundos.

## PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

En la Norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 [9] se describen dos métodos para medir el tiempo de reverberación: el método de ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada. Ambos métodos tienen el mismo valor teórico.

### Método del ruido interrumpido

- Excitación del recinto

Se debe utilizar un altavoz y la señal que recibe debe proceder de un ruido eléctrico de banda ancha aleatorio o pseudo-aleatorio. Si se utiliza un ruido pseudo-aleatorio, se debe parar aleatoriamente, sin utilizar una secuencia repetida. La fuente debe ser capaz de generar un nivel de presión acústica suficiente para garantizar una curva de decrecimiento que empiece al menos 35 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencias correspondiente, si se mide  $T_{20}$ <sup>8</sup>.

Para las mediciones en bandas de tercio de octava, el ancho de banda de la señal debe ser mayor o igual a un tercio de octava. El espectro debe ser razonablemente plano en la banda de octava a medir.

Para el método de ingeniería, la duración de la excitación del recinto debe ser suficiente para que el campo acústico alcance un estado estacionario antes de apagar la fuente. Por lo tanto, es esencial emitir el ruido durante al menos  $T/2$  s. En recintos grandes, la duración de la excitación debe ser de al menos unos segundos.

- Promediado de las mediciones

El número de posiciones de micrófono utilizadas se determinará por la precisión requerida. Sin embargo, teniendo en cuenta el carácter aleatorio inherente a la señal de la fuente, es necesario calcular el promedio a partir de un número de mediciones en cada posición para obtener una incertidumbre de medición aceptable. El promedio se puede calcular de dos formas:

- Hallando los tiempos de reverberación individuales para todas las curvas y tomando el valor medio;

---

<sup>8</sup>  $T_{20}$  se deriva del tiempo en el que la curva de decrecimiento alcanza primero 5 dB y 25 dB por debajo del nivel inicial.

- Haciendo una media del conjunto de los decrecimientos de presión acústica al cuadrado y hallando el tiempo de reverberación de la curva resultante. Los decrecimientos individuales se superponen sincronizando sus orígenes. Es importante que la potencia acústica de la fuente sea idéntica para todas las mediciones.

### **Método de la respuesta impulsiva integrada**

La respuesta impulsiva en un recinto es una magnitud bien definida, que se puede medir de múltiples maneras.

- Excitación del recinto

La respuesta impulsiva se puede medir directamente utilizando una señal impulsiva que no sea en sí misma reverberante, siempre y cuando su espectro sea lo suficientemente ancho. La fuente impulsiva debe ser capaz de producir un nivel de presión acústica de pico suficiente para garantizar una curva de decrecimiento empezando al menos 35 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente.

- Integración de la respuesta impulsiva

Para cada banda de tercio de octava genérese la curva de decrecimiento por integración inversa de la respuesta impulsiva filtrada elevada al cuadrado.

## **INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN**

### **Método del ruido interrumpido**

Debido a la naturaleza aleatoria de la señal de excitación, la incertidumbre de medición del método del ruido interrumpido depende mucho del método de promedios realizados. El promedio de conjunto y el promedio de los tiempos de reverberación individuales tienen la misma sensibilidad al número de promedios. La desviación típica del resultado de medición,  $\sigma(T_{20})$ , en segundos, se puede estimar a partir de la ecuación (3.1.2).

$$\sigma(T_{20}) = 0,88 T_{20} \sqrt{\frac{1 + (\frac{1,90}{n})}{n B T_{20}}} \quad (3.1.2)$$

donde

$B$  es el ancho de banda, en hercios;

$n$  es el número de decrecimientos medidos en cada posición;

$N$  es el número de posiciones de medición independientes (combinaciones de posición fuente – micrófono);

$T_{20}$  es el tiempo de reverberación, en segundos, en función de un rango de evaluación de 20 dB.

Para un filtro de tercio de octava  $B = 0,23 \cdot f_c$ , dónde  $f_c$  es la frecuencia media del filtro, en hercios.

### **Método de la respuesta impulsiva integrada**

La incertidumbre de medición que utiliza el método de la respuesta impulsiva integrada es del mismo grado de magnitud que la producida por un promedio de  $n = 10$  mediciones en cada posición con el método de ruido interrumpido. No es necesario ningún promediado adicional para aumentar la precisión de medición estadística para cada posición.

### **PROMEDIADO ESPACIAL**

Los resultados medidos para el rango de las posiciones de la fuente y de micrófono se pueden combinar para zonas identificadas por separado o para el conjunto del recinto para obtener los valores de promediado espacial. Este promediado espacial se debe alcanzar por medio de uno de los siguientes procedimientos:

- a) Promediado aritmético de los tiempos de reverberación. Se obtiene calculando la media de los tiempos de reverberación individuales para todas las posiciones independientes de fuente y micrófono. Se puede determinar la desviación típica para ofrecer una medición de precisión y la variación espacial del tiempo de reverberación.
- b) Promediado del conjunto de las curvas de decrecimiento. Los decrecimientos individuales se superponen sincronizando sus orígenes.

#### 1.2.4 Desarrollo de la medida

Primeramente se comprobará que se cumplen los requisitos de medida marcados por la Norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 [9].

Esta Norma se puede aplicar a medidas del tiempo de reverberación en cualquier tipo de recinto. En este proyecto se ha utilizado un recinto con campo sonoro difuso, en concreto la cámara reverberante del Campus Sur de la Universidad Politécnica de Madrid.

En la Figura 3.1.2 se muestra una representación en planta con las dimensiones de dicha cámara, en metros:

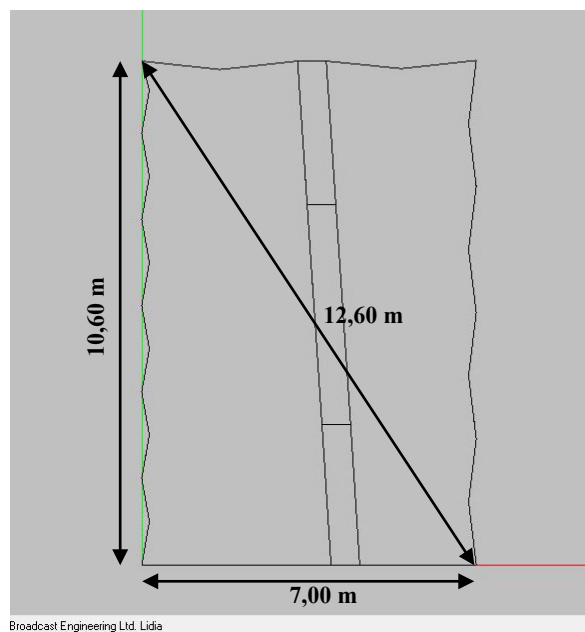


Figura 3.1.2: Representación en planta de la cámara reverberante y dimensiones.

La altura de la cámara es de 2,05 m.

Su volumen es  $206 \text{ m}^3$  y su superficie es de  $344 \text{ m}^2$ .

En la Figura 3.1.3 se muestra la representación de la cámara reverberante en perspectiva isométrica.

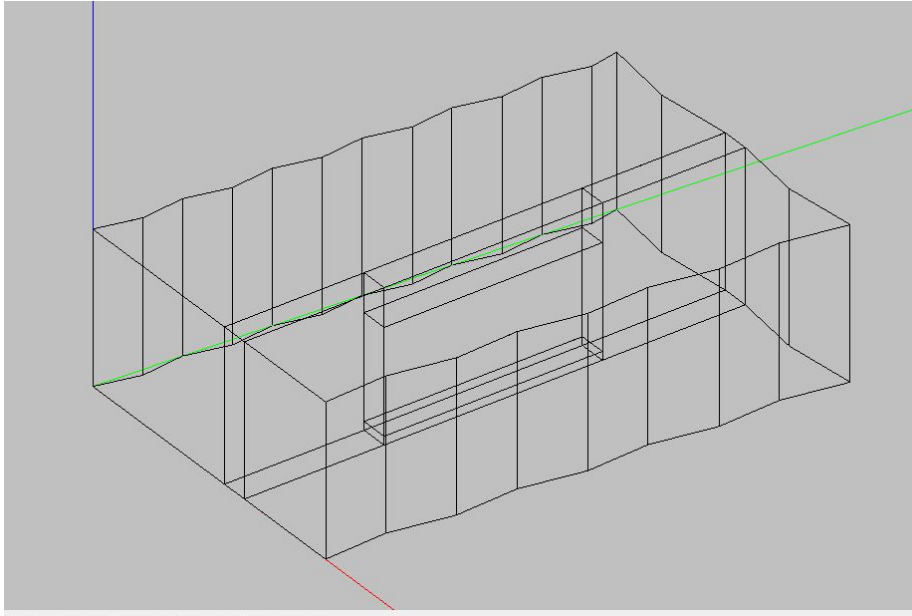


Figura 3.1.3: Representación de la cámara reverberante bajo perspectiva isométrica.

La cámara cuenta con difusores suspendidos del techo para mejorar la dispersión del campo sonoro.

Para comenzar la medición, en primer lugar se ha de implementar el diagrama de conexión que se muestra en la Figura 3.1.1, en función del método que se vaya a emplear para medir el tiempo de reverberación.

A continuación se debe configurar correctamente el sistema de adquisición con el software dBbati, tal y como se indica en el *Capítulo 2* en el apartado *2 Configuración*.

Para realizar las medidas de tiempo de reverberación se usará un solo micrófono, cuyas características e imagen se muestran en la Figura 3.1.4.



Figura 3.1.4: Características del micrófono utilizado en la medida de tiempo de reverberación.

Las condiciones para las posiciones de micrófono y de la fuente se han especificado en el apartado 1.2.3 *Ensayo según norma*.

Para la medición de tiempo de reverberación se han elegido tres posiciones para la fuente y cuatro posiciones de micrófono para cada posición de la fuente, es decir, doce combinaciones fuente – micrófono, que darán una precisión mayor que la mínima requerida por la Norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 [9].

En la Figura 3.1.5 se muestra un esquema de las posiciones que se han elegido que, como se puede observar, son representativas del espacio del recinto.

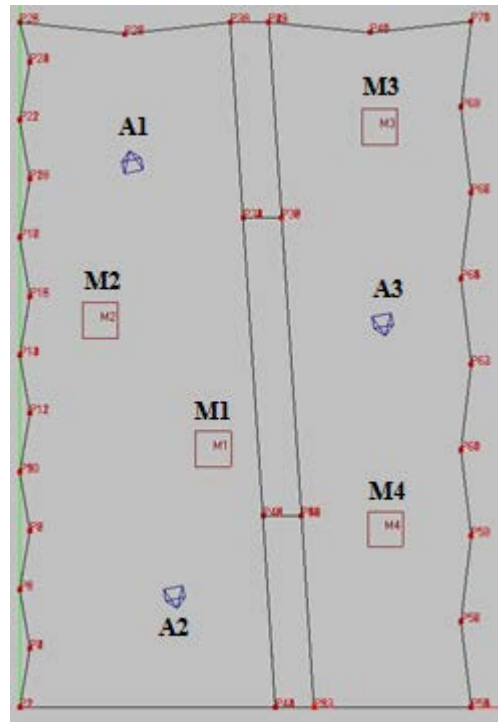


Figura 3.1.5: Posiciones de fuente y micrófono elegidas para la medida del tiempo de reverberación. Estas posiciones cumplen los requisitos que se especifican en la Norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 [9].

A partir de este momento se debe hacer la distinción entre los dos métodos de medición especificados en la Norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 [9].



#### 1.2.4.1 Ruido interrumpido

##### Emisión

Es necesario configurar la emisión.

La versión de dBBA132 de 01 dB –Metravib de la que se dispone no contiene el módulo dBRTA, el cual es necesario para poder emitir con NetdB. Es por ello que fue necesario adoptar una solución alternativa, la cual consiste en utilizar un generador dBGene existente en el paquete dBFA de 01 dB –Metravib, y emitir a través de la tarjeta de sonido del ordenador. Esta solución tiene algunas carencias en comparación a la emisión desde NetdB, pues no contempla la posibilidad de automatizar el comienzo y la finalización de la emisión de la señal, entre otras cosas, pero es una solución que a efectos de medición es válida, aunque obligue a prescindir de algunas comodidades.

Se abre el generador dBGene que pertenece a dBFA.

Para la medida del tiempo de reverberación se va a utilizar Ruido Rosa, ya que garantiza el mismo nivel de presión sonora en banda porcentual constante de frecuencia, es decir, un espectro continuo con la frecuencia. Esto asegura que en cada banda de tercio de octava va a tener la misma energía de excitación. Por tanto si el espectro del ruido es plano, facilita la comparación entre puntos.

Este generador es el que se muestra en la Figura 3.1.6.

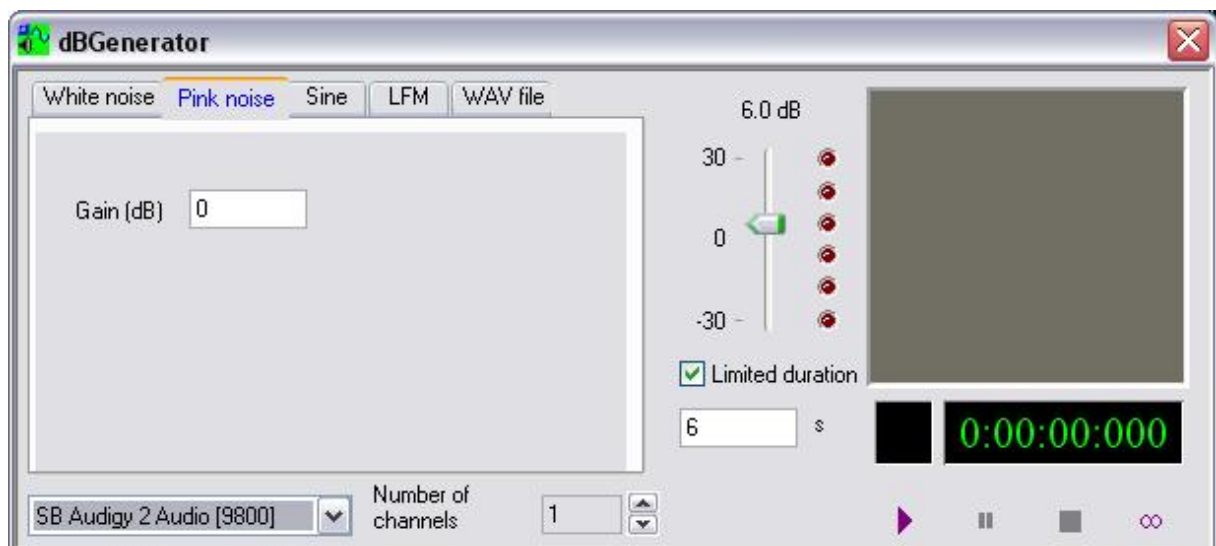


Figura 3.1.6: Generador.

- **Ruido de fondo**

No hay generador.

- **Espectro estándar**

Se emite ruido rosa durante 17 s, pues como se ha explicado anteriormente, el proceso emisión – recepción no está automatizado, y de esta manera se asegura que dará tiempo a iniciar y detener la medición y el generador sin que se registre ninguna caída de nivel.

- **Tiempo de reverberación**

Se emite ruido rosa durante 10 s, que será más que suficiente para que el campo sonoro generado por la fuente alcance un estado estacionario y se pueda iniciar y detener tanto el generador como la medición, registrándose la caída de nivel completa.

### Recepción

En la ventana principal del software dBati, dentro de *Adquisición* se crea un controlador de medida seleccionando la opción *Nuevo* de dicho menú. En la pestaña *Configurar* se elegirán los tres tipos de señales que se van a analizar: *ruido de fondo*, *espectro estándar* y *tiempo de reverberación*, tal y como se muestra en la Figura 3.1.7.



Figura 3.1.7: Configuración de la medida.

Configuración de parámetros:

Las medidas se realizarán en tercios de octava, con un margen de frecuencias entre 100 Hz y 5000 Hz.

Aunque no es necesario, antes de comenzar las medidas de tiempo de reverberación se midió el ruido de fondo y el espectro de emisión en una única posición fuente – micrófono, simplemente para comprobar que se cumplía la condición impuesta por la Norma [9], que dice que debe haber un margen de 35 dB como mínimo entre el nivel de la señal emitida y el nivel de ruido de fondo. Esta comprobación se podría haber hecho directamente sobre las caídas de nivel que registra el sistema de adquisición, pero de esta manera se puede comprobar también que el espectro de emisión es bastante plano, y así verificar que se cumple la condición que dice que no debe haber una diferencia de nivel mayor de 6 dB entre bandas de tercio de octava adyacentes.

Se establece antes de realizar las medidas que la duración de estas será de 15 s, ya que el proceso de emisión – recepción no está automatizado y de esta manera se garantiza que da tiempo a iniciar y detener tanto el generador como la medición.

### **Ruido de fondo**

La duración de la medida será de 15 s.

Se promediarán tres medidas en cada punto.

- **Espectro estándar**

La duración de la medida será de 15 s.

Se realizará un promediado de tres medidas en cada punto.

- **Tiempo de reverberación**

La duración de la medida será de 15 s.

Es necesario seleccionar que se va a emplear el método de ruido interrumpido.

Para los pasos temporales es necesario poner una constante. Este valor se elige aplicando que el procesador es lineal, por lo tanto dicha constante ha de ser menor que  $T/12$ , siendo  $T$  el menor tiempo de reverberación registrado en el recinto. Dado que el menor tiempo de reverberación registrado es de alrededor de 2 s, la constante ha de ser menor que 172 ms. Se determina que un valor de 100 ms para dicha constante será suficiente.

Se promedian tres medidas en cada punto, y se ha de seleccionar la pestaña *Almacenamiento de espectros intermedios*. En cuanto al rango dinámico, se selecciona comenzar en -5 dB y dinámica de 20 dB.

Estos parámetros de configuración del tiempo de reverberación se muestran en la Figura 3.1.8.

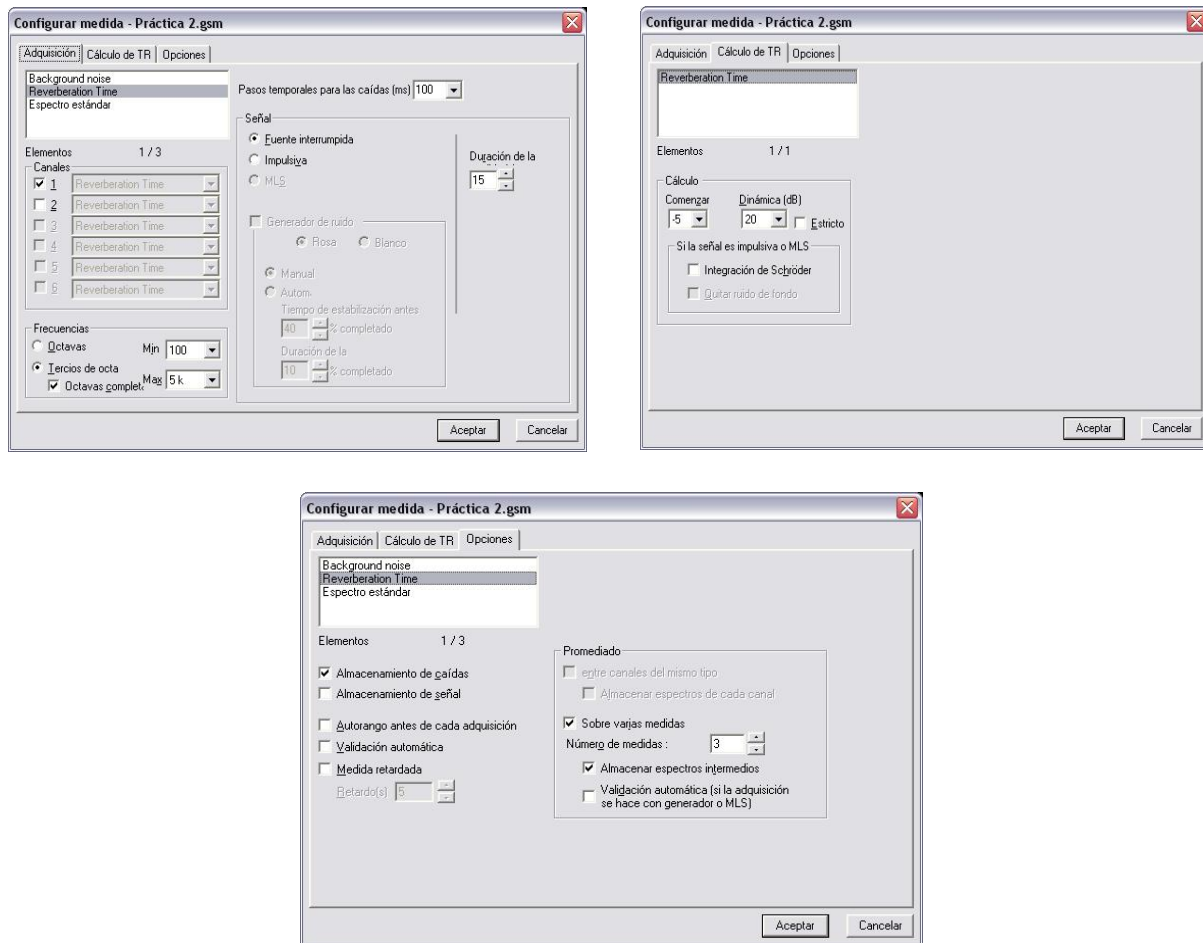


Figura 3.1.8: Configuración de los parámetros para la medida del tiempo de reverberación con señal de ruido interrumpido.

Una vez configurada la medida se procede a comenzar la medición.

En la medida de espectro estándar de emisión y de tiempo de reverberación se inicia primero el generador e inmediatamente después se activa la medida en el botón de comenzar medida de dBbati.

En cada punto se realizan tres medidas. Será necesario validar cada uno de los conjuntos de caídas de nivel de señal y, una vez validadas las tres medidas de cada punto, aparecerá el promedio en la ventana principal de dBbati. Se repite el proceso para cada una de las combinaciones fuente – micrófono.

#### 1.2.4.2 Respuesta impulsiva integrada

##### Emisión

Como no se dispone de ningún generador automático de señal impulsiva se determinó como fuente impulsiva la explosión de globos, tal como se indica en la Figura 3.1.1 (b).

##### Recepción

En la ventana principal del software dBBati, en la pestaña *Adquisición* se crea un controlador de medida seleccionando la opción *Nuevo* de dicho menú. En la pestaña *Configurar* se elige *Tiempo de reverberación*.

Configuración de parámetros:

Las medidas se realizarán en tercios de octava, con un margen de frecuencias entre 100 Hz y 5000 Hz.

Con este método no es necesario hacer un promediado de varias medidas en cada punto, tal y como se ha especificado en el apartado *1.2.3 Ensayo según norma*.

Se comprobará la condición de que el nivel emitido es 35 dB mayor que el ruido de fondo en la caída que registra el sistema de adquisición, por lo tanto, en este caso, no se midió ni el ruido de fondo ni el espectro de emisión.

La duración de la medida será de 15 s, ya que el proceso de medida con señal impulsiva es más complejo, pues una persona debe estar situada en el interior de la cámara para realizar la explosión de globos, y otra persona desde fuera, manejando el software de adquisición, debe indicarle a la que está en el interior en qué momento está iniciada la medición para que efectúe la explosión del globo. Por ello se determinó que 15 s era tiempo suficiente para que se pudiera realizar este proceso de la mejor manera posible.

Es necesario seleccionar que se va a emplear el método de respuesta impulsiva integrada.

En este caso el valor de la constante será de 130 ms, ya que para este método da una mayor precisión en la pendiente de la caída, y está dentro del margen especificado para un procesador lineal.

En cuanto al rango dinámico, se selecciona comenzar en -5 dB y dinámica de 20 dB.

La configuración de estos parámetros se puede observar en la Figura 3.1.9.

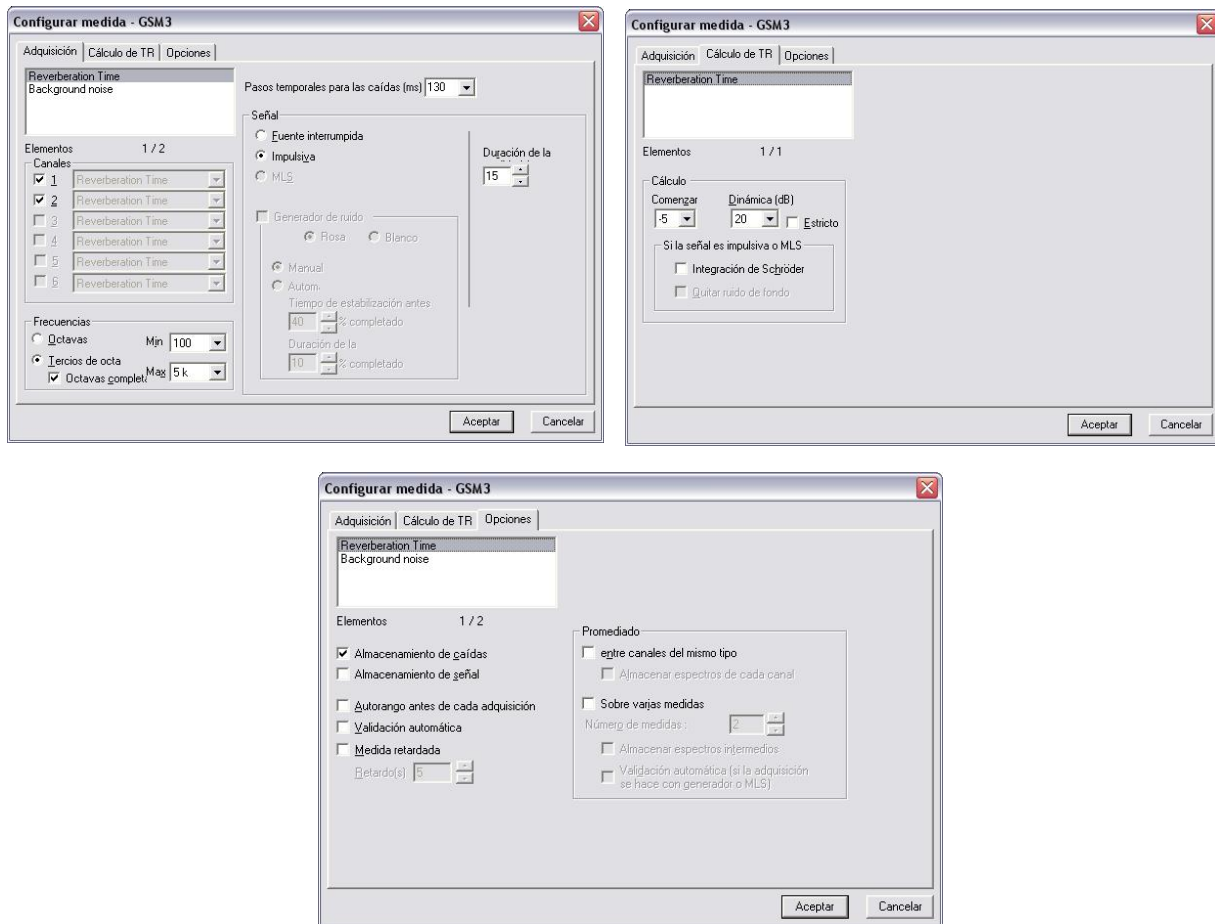


Figura 3.1.9: Configuración de los parámetros para medida del tiempo de reverberación con señal impulsiva.

### 1.3 Cálculos y resultados de la medida

En este punto se realizarán los cálculos oportunos para obtener el tiempo de reverberación del recinto bajo estudio.

Antes de comenzar cualquier medida, hay que realizar un registro de la temperatura y de la humedad relativa del aire dentro del recinto como se especificó en el apartado 1.2.3 *Ensayo según norma*. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.1.2.

Tabla 3.1.2: Temperatura y humedad relativa.

Recinto	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]
Cámara reverberante	24,0	39,4

A continuación se va a diferenciar entre los dos métodos empleados para la medida del tiempo de reverberación según la Norma [9].

#### 1.3.1 Ruido interrumpido

Como se ha explicado anteriormente, antes de realizar las medidas de tiempo de reverberación se midió el espectro de emisión y el ruido de fondo para garantizar que el espectro de emisión era lo suficientemente plano para que no exista una diferencia de nivel mayor que 6 dB entre bandas de tercio de octava adyacentes y poder comprobar que existe una diferencia de nivel mayor que 35 dB entre éste y el ruido de fondo. Esta medición se hizo únicamente en una posición, pues para analizar el cumplimiento de estas condiciones es más que suficiente, ya que el cumplimiento de la condición referente a la diferencia de nivel mayor que 35 dB entre ruido de fondo y ruido emitido se puede verificar en las caídas que registra el sistema de adquisición.

En la Tabla 3.1.3 se verifica el cumplimiento de las dos condiciones.

Tabla 3.1.3: Niveles de ruido medidos en la cámara reverberante.

Frecuencia [Hz]	NIVELES DE RUIDO	
	Ruido de fondo [dB]	Emisión [dB]
100	30,7	78,3
125	28,6	83,3
160	23,9	85,8
200	24,9	87,1
250	24,0	87,9
315	22,8	88,9
400	22,4	86,2
500	26,2	85,1
630	21,2	82,9
800	19,5	81,4
1000	21,1	79,5
1250	21,0	79,9
1600	21,7	81,4
2000	20,7	77,8
2500	19,8	76,4
3150	19,5	74,1
4000	19,3	71,6
5000	20,1	71,2

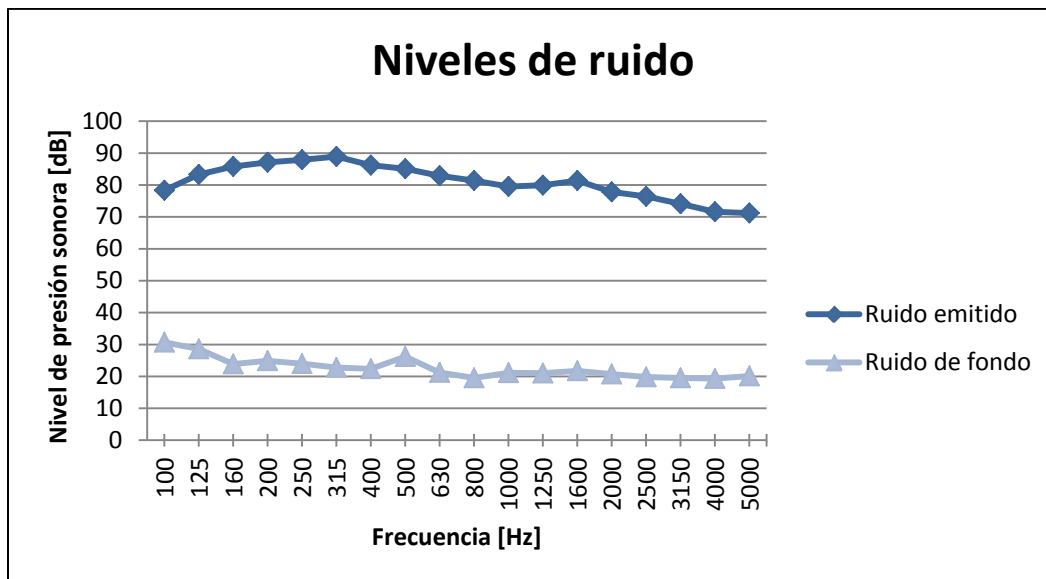


Figura 3.1.10: Diferencia de niveles de ruido en cámara reverberante.

El tiempo de reverberación obtenido en cada una de las posiciones fuente – micrófono es el resultado de promediar tres caídas diferentes en cada una de ellas. El objetivo de haber registrado tres caídas en cada posición es disminuir la incertidumbre en las medidas.



El promediado se realizará evaluando cada una de las caídas por separado y promediando los tiempos de reverberación obtenidos. Un ejemplo de esta evaluación se muestra en la Figura 3.1.11.

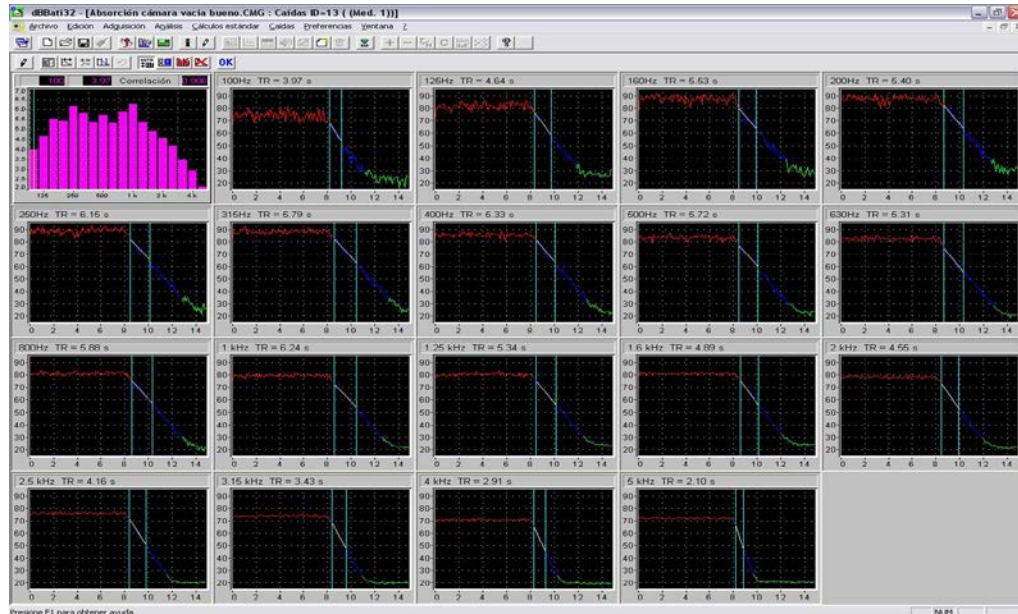


Figura 3.1.11: Evaluación de una de las caídas registradas.

Los tiempos de reverberación se deben dar en bandas de frecuencia de un tercio de octava y expresarse con dos cifras decimales.

Los tiempos de reverberación obtenidos se muestran en la Tabla 3.1.4.

Tabla 3.1.4: Tiempos de reverberación obtenidos en la medición empleando el método de ruido interrumpido.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN												
Frecuencia [Hz]	Fuente posición 1				Fuente posición A2				Fuente posición A3			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
100	4,73	4,29	5,11	3,35	4,51	4,41	4,10	3,98	4,86	3,71	4,39	3,99
125	5,79	4,62	4,98	4,04	4,15	4,58	4,64	4,87	4,79	4,31	4,03	4,81
160	5,67	5,34	5,51	4,47	5,08	4,94	4,66	5,15	5,20	4,63	5,04	6,40
200	5,46	5,39	5,12	5,30	5,69	5,80	5,31	5,94	4,45	5,36	5,22	5,05
250	5,38	6,02	5,29	5,61	5,75	4,99	5,67	5,60	5,72	6,06	6,09	4,75
315	5,72	5,66	5,05	5,61	5,98	6,85	5,93	5,12	5,95	6,49	5,34	5,69
400	5,72	5,18	5,78	5,19	5,37	5,50	5,15	5,14	5,14	5,74	5,33	5,22
500	4,92	5,49	5,14	4,86	5,22	5,02	4,54	4,94	5,04	4,79	4,95	4,99
630	5,97	5,12	5,20	5,81	5,27	5,46	5,86	5,51	5,08	4,58	5,38	5,27
800	6,15	5,94	5,85	5,30	5,30	5,78	5,80	5,52	5,74	5,36	5,29	5,67
1000	5,68	6,01	5,82	5,69	5,69	5,67	5,81	5,38	5,71	5,44	5,43	5,26
1250	5,28	5,26	5,60	5,23	5,26	5,10	5,17	5,23	5,67	5,25	5,14	5,26
1600	4,85	5,00	5,01	5,15	5,04	5,12	4,91	5,00	5,07	4,95	5,04	4,93
2000	4,56	4,57	4,74	4,77	4,41	4,49	4,79	4,43	4,61	4,48	4,59	4,59
2500	4,12	4,16	4,26	4,11	4,19	4,00	4,38	4,26	4,10	4,11	4,10	4,11
3150	3,52	3,43	3,47	3,37	3,59	3,46	3,58	3,43	3,54	3,49	3,66	3,69
4000	2,90	2,85	2,76	2,75	2,85	2,73	2,92	2,90	2,90	2,84	2,87	2,93
5000	2,20	2,07	2,24	2,25	2,14	2,18	2,20	2,27	2,22	2,20	2,27	2,25

Una vez hecho esto, se promedian aritméticamente los tiempos de reverberación obtenidos de cada posición fuente – micrófono. El resultado de este promedio se muestra en la Tabla 3.1.5.

Tabla 3.1.5: Tiempo de reverberación promedio.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN	
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación promedio [s]
100	4,29
125	4,63
160	5,17
200	5,34
250	5,58
315	5,78
400	5,37
500	4,99
630	5,38
800	5,64
1000	5,63
1250	5,29
1600	5,01
2000	4,59
2500	4,16
3150	3,52
4000	2,85
5000	2,21

También en forma de gráfico, en la Figura 3.1.12.

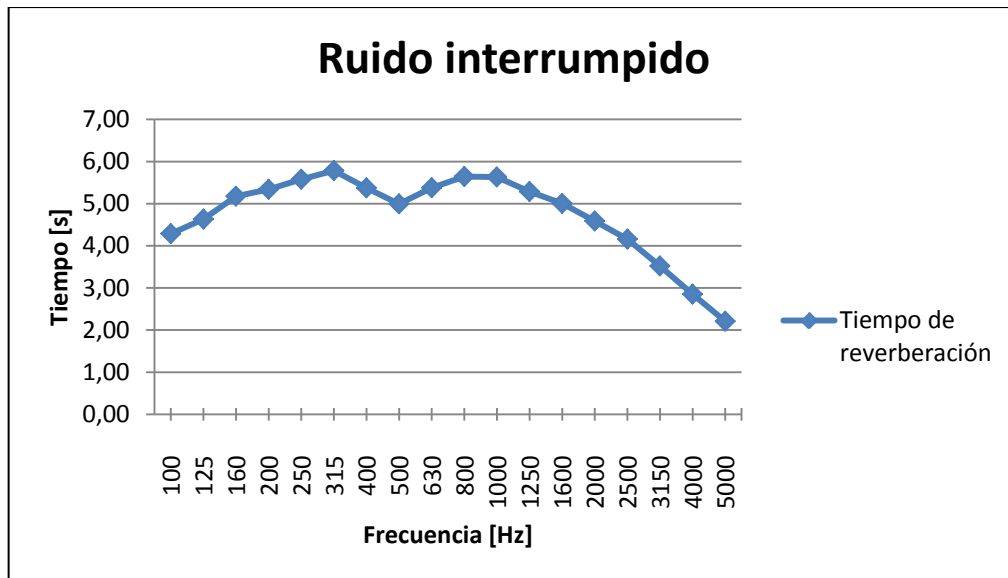


Figura 3.1.12: Tiempo de reverberación promedio.

Una vez obtenido el promedio del tiempo de reverberación del recinto estudiado es necesario obtener la incertidumbre de medición. La desviación típica del resultado de medición,  $\sigma(T_{20})$ , en segundos, se puede estimar a partir de la ecuación (3.1.2). El resultado se muestra en la Tabla 3.1.6.

Tabla 3.1.6: Desviación típica de la medición cuando se emplea método de ruido interrumpido.

DESVIACIÓN TÍPICA DE LA MEDICIÓN	
Frecuencia [Hz]	Desviación típica [s]
100	0,14
125	0,13
160	0,12
200	0,11
250	0,10
315	0,09
400	0,08
500	0,07
630	0,06
800	0,06
1000	0,05
1250	0,04
1600	0,04
2000	0,03
2500	0,03
3150	0,02
4000	0,02
5000	0,01

Como se puede observar la medición es más precisa en alta frecuencia.

De manera más clara se puede visualizar en el gráfico de la Figura 3.1.13.

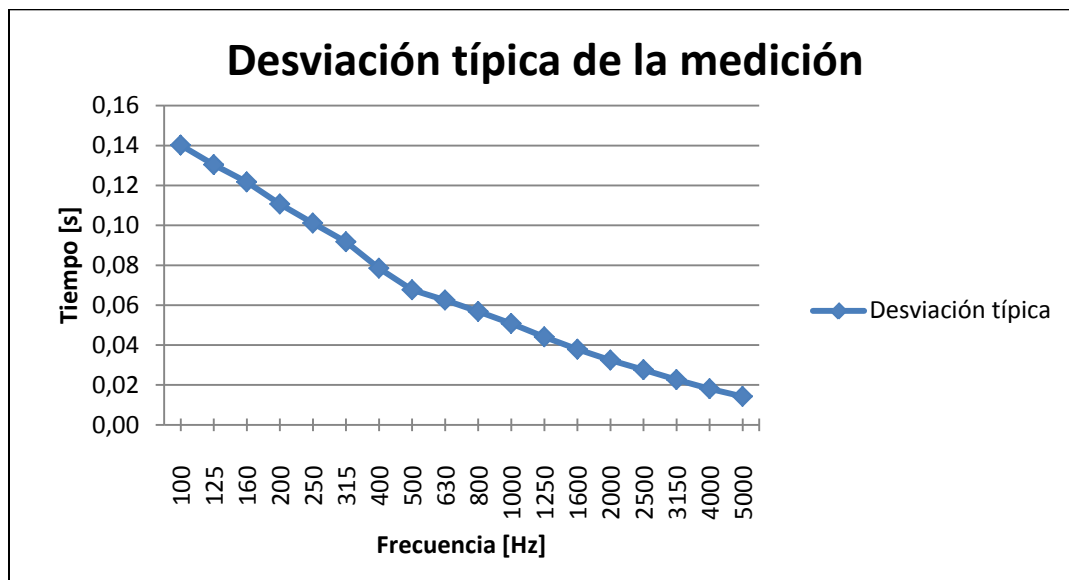


Figura 3.1.13: Desviación típica de la medición cuando se emplea método de ruido interrumpido.

### 1.3.2 Respuesta impulsiva integrada

En primer lugar se debe comprobar que existe un margen de 35 dB de diferencia entre el ruido que produce el estallido del globo y el ruido de fondo, en el peor de los casos. Como se ha explicado anteriormente, no es necesario medir el espectro de emisión ni el ruido de fondo, pues el cumplimiento de esta condición se puede comprobar en las caídas que proporciona el sistema de adquisición. Un ejemplo de que esta condición se cumple se muestra en la Figura 3.1.14.

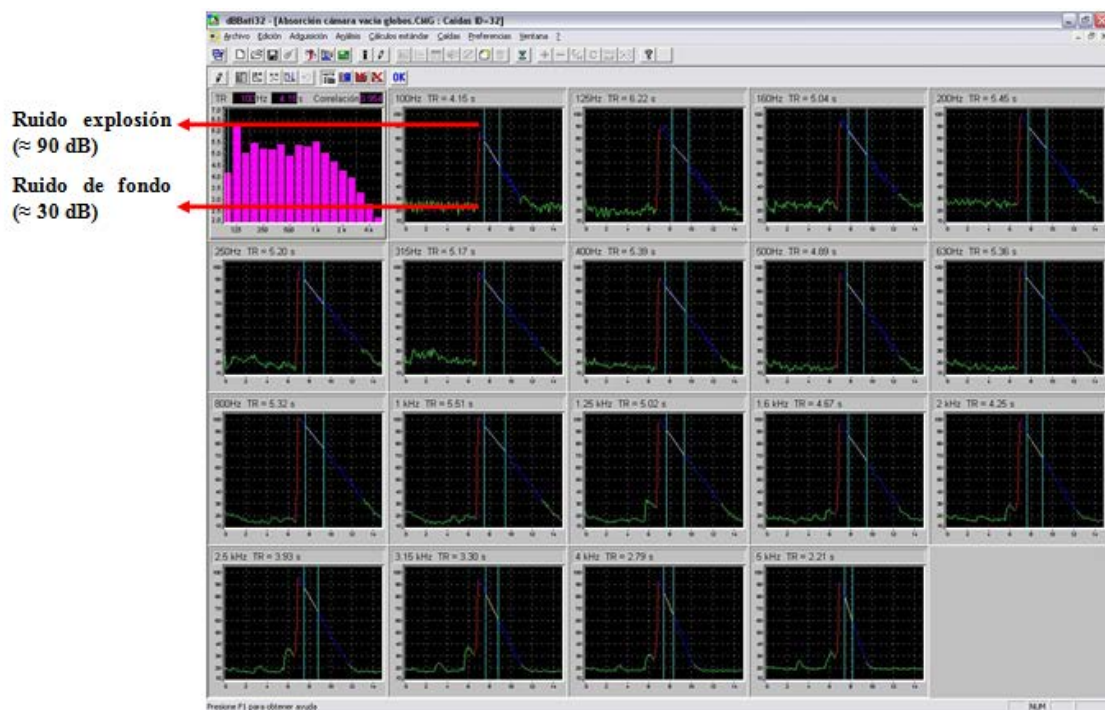


Figura 3.1.14: Caídas de nivel de señal.

Las caídas han de ser evaluadas por separado en cada punto.

Los tiempos de reverberación obtenidos usando este método son los que se muestran en la Tabla 3.1.7.

Tabla 3.1.7: Tiempos de reverberación obtenidos en la medición empleando método de señal impulsiva.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN												
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1				Fuente posición A2				Fuente posición A3			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
100	4,63	3,63	5,21	3,51	3,94	4,15	5,82	3,27	4,85	4,51	5,51	4,28
125	5,19	4,32	3,71	5,09	4,66	6,22	4,55	4,46	4,58	5,35	4,90	4,27
160	4,59	5,89	4,99	5,44	6,00	5,04	5,13	5,99	5,19	3,42	5,07	4,87
200	5,64	5,81	6,46	5,23	5,51	5,45	5,11	5,46	5,86	4,59	5,76	5,89
250	5,20	5,41	5,68	4,96	5,68	5,20	5,86	5,66	5,93	4,73	5,99	5,01
315	5,41	5,43	5,59	4,83	5,90	5,17	5,84	5,75	5,23	4,98	6,02	5,56
400	5,33	5,34	5,77	4,68	5,44	5,39	4,87	5,46	5,22	5,02	5,36	5,48
500	4,70	5,12	5,02	4,66	4,93	4,89	5,16	5,01	4,82	4,97	5,17	4,75
630	4,94	5,50	4,95	4,65	5,32	5,36	5,04	5,33	4,99	5,16	5,24	4,97
800	5,47	5,21	4,69	5,27	5,42	5,32	5,36	5,39	5,20	5,12	5,10	5,45
1000	5,27	5,25	5,05	4,99	5,22	5,51	5,10	5,26	5,30	5,35	5,21	5,28
1250	5,23	5,07	5,43	5,26	4,95	5,02	4,98	5,19	5,21	4,89	5,22	5,10
1600	4,63	4,63	4,63	4,80	4,65	4,67	4,50	4,82	4,87	4,88	4,79	4,57
2000	4,25	4,26	4,37	4,49	4,21	4,25	4,16	4,35	4,22	4,25	4,25	4,19
2500	3,82	3,82	3,95	3,94	3,82	3,93	3,83	3,74	3,76	3,74	3,97	3,72
3150	3,30	3,28	3,19	3,15	3,33	3,30	3,25	3,21	3,31	3,32	3,37	3,29
4000	2,63	2,68	2,76	2,62	2,8	2,79	2,77	2,64	2,71	2,71	2,69	2,73
5000	2,15	2,19	2,11	2,11	2,24	2,21	2,22	2,16	2,16	2,18	2,19	2,15

A continuación se promedian aritméticamente los tiempos de reverberación obtenidos de cada posición fuente – micrófono. El resultado de este promedio se muestra en la Tabla 3.1.8, y en modo gráfico en la Figura 3.1.15.

Tabla 3.1.8: Tiempo de reverberación promedio.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN	
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación promedio [s]
100	4,44
125	4,78
160	5,14
200	5,56
250	5,44
315	5,48
400	5,28
500	4,93
630	5,12
800	5,25
1000	5,23
1250	5,13
1600	4,70
2000	4,27
2500	3,84
3150	3,28
4000	2,71
5000	2,17

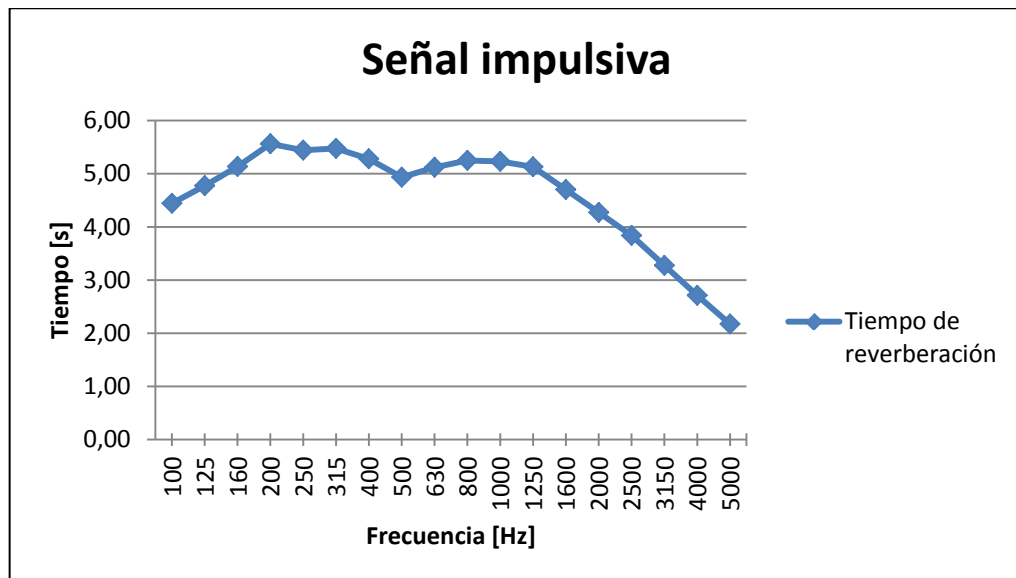


Figura 3.1.15: Tiempo de reverberación promedio.

Ahora se obtiene la incertidumbre de la medición con los datos de tiempo de reverberación que aparecen en la Tabla 3.1.8. La desviación típica del resultado de medición,  $\sigma(T_{20})$ , en segundos, se puede estimar a partir de la ecuación (3.1.2), considerando que la incertidumbre de medición que utiliza el método de la respuesta impulsiva integrada es del mismo grado de magnitud que la producida por un promedio de  $n = 10$  mediciones en cada posición con el método de ruido interrumpido. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.1.9.

Tabla 3.1.9: Desviación típica de la medición empleando método de señal impulsiva.

<b>DESVIACIÓN TÍPICA DE LA MEDICIÓN</b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Desviación típica [s]</b>
<b>100</b>	0,12
<b>125</b>	0,11
<b>160</b>	0,10
<b>200</b>	0,10
<b>250</b>	0,09
<b>315</b>	0,08
<b>400</b>	0,07
<b>500</b>	0,06
<b>630</b>	0,05
<b>800</b>	0,05
<b>1000</b>	0,04
<b>1250</b>	0,04
<b>1600</b>	0,03
<b>2000</b>	0,03
<b>2500</b>	0,02
<b>3150</b>	0,02
<b>4000</b>	0,02
<b>5000</b>	0,01

Igual que para el método de señal de ruido interrumpido, se puede observar que la precisión de la medida aumenta con la frecuencia.

Se puede visualizar de manera más clara en el gráfico de la Figura 3.1.16.



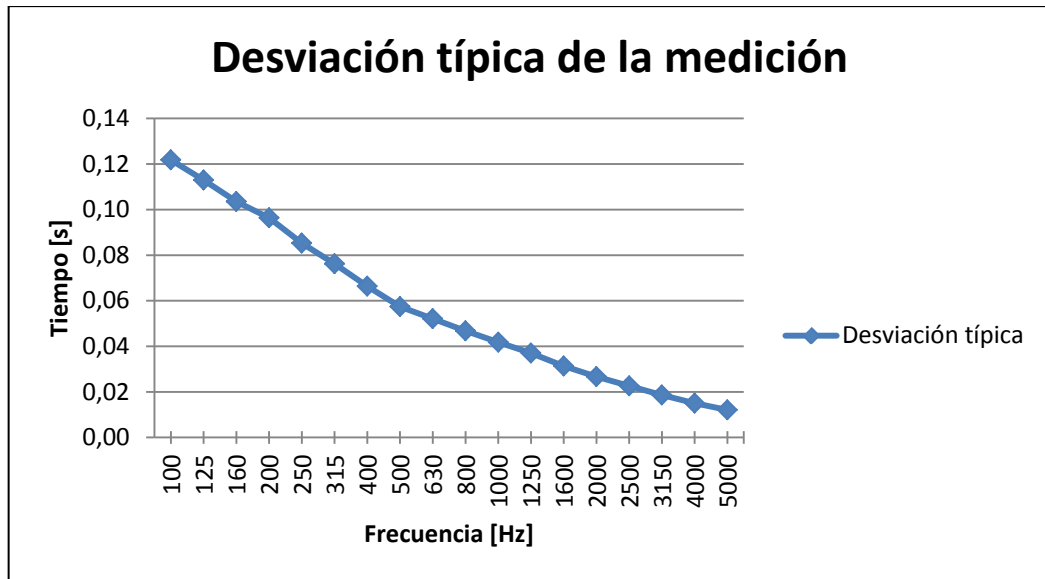


Figura 3.1.16: Desviación típica de la medición empleando método de señal impulsiva.

## 1.4 Conclusiones

Una vez realizada la medida del tiempo de reverberación se pueden extraer las siguientes conclusiones.

Realizando la medición con ambos métodos se puede comprobar que la curva del tiempo de reverberación es prácticamente la misma, tal y como se observa en la Figura 3.1.17.

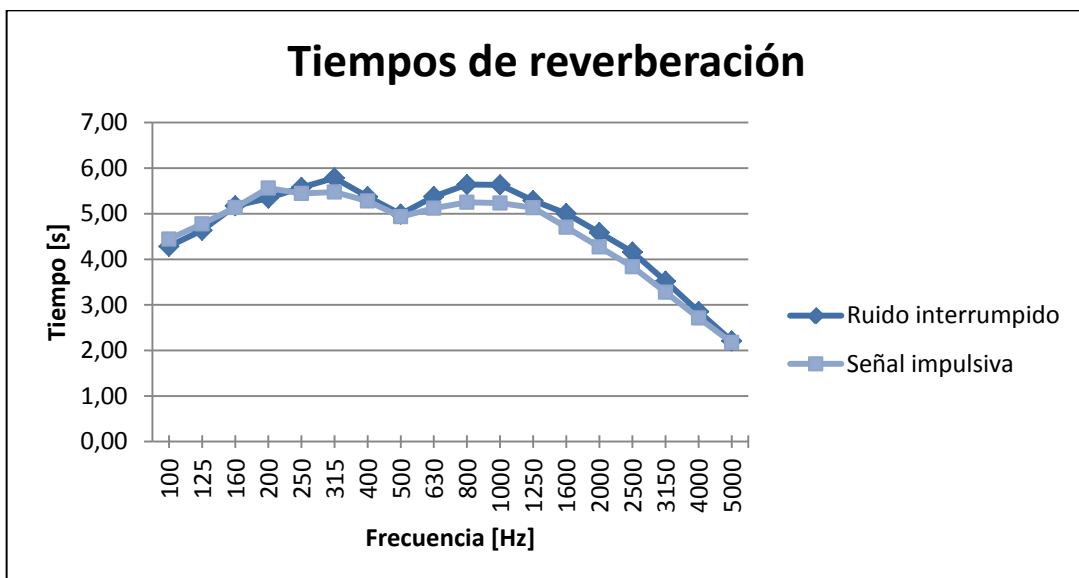


Figura 3.1.17: Comparación entre los tiempos de reverberación obtenidos con señal de ruido interrumpido y señal impulsiva.

Comparando las desviaciones típicas de las mediciones realizadas con cada método se puede determinar que es más preciso el método de la respuesta impulsiva integrada, pues realizando una sola medida en cada punto la incertidumbre de la medida es menor. Esta comparación se puede visualizar en la Figura 3.1.18.

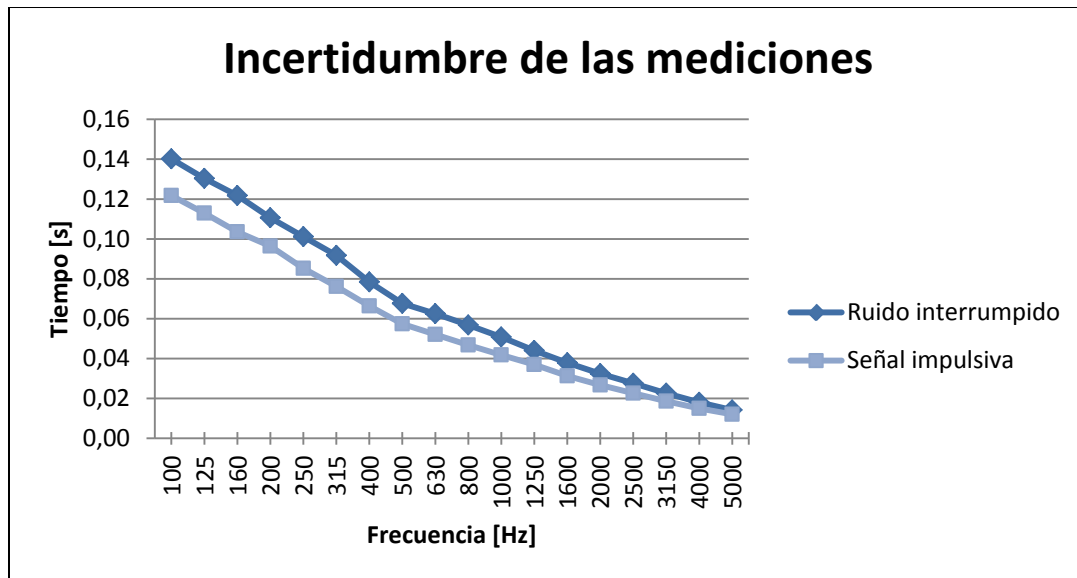


Figura 3.1.18: Comparación entre las desviaciones típicas obtenidas con señal de ruido interrumpido y señal impulsiva.

Se puede observar como a medida que aumenta la frecuencia aumenta la precisión de la medida, obteniéndose una desviación típica de 0,01 s para la frecuencia de 5 kHz.

El valor de la desviación típica asociada a las medidas se podría mejorar considerablemente registrando más caídas en cada posición micrófono – fuente o aumentando el número de posiciones de medida.

## 2 Medición del coeficiente de absorción en cámara reverberante

### 2.1 Objetivo

El objetivo de esta práctica es calcular el coeficiente de absorción sonora y el área de absorción sonora equivalente de materiales acústicos empleados como tratamientos de paredes o de techos, mediante la variación del tiempo de reverberación en cámara reverberante, siguiendo el procedimiento que dicta la Norma Española UNE-EN ISO 354:2004 [11].

Para realizar las medidas se empleará el sistema de adquisición NetdB y el programa de procesamiento dBBATI32, de 01dB –Metravib, homologado como sonómetro tipo 1, según la Norma IEC 645.

### 2.2 Procedimiento de medida

#### 2.2.1 Equipos utilizados

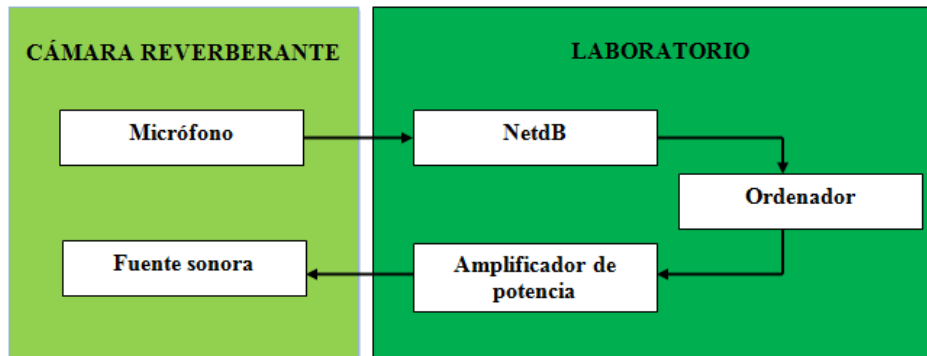
- Ordenador
- Sistema NetdB 01dB –Metravib
- Programa de procesamiento dBBATI32
- Generador dBGene de dBFA.
- Cámara reverberante
- Micrófono de  $\frac{1}{4}$  " AVM, modelo MI17
- Fuente dodecaédrica AVM, modelo DO12
- Amplificador de potencia INTER-M, modelo M700
- Calibrador sonoro 01dB, modelo Cal01
- Medidor de condiciones ambientales VelociCalc plus, TSI

A parte de los elementos citados se utilizará un pie para sujetar el micrófono y un pie especial para sustentar el altavoz.

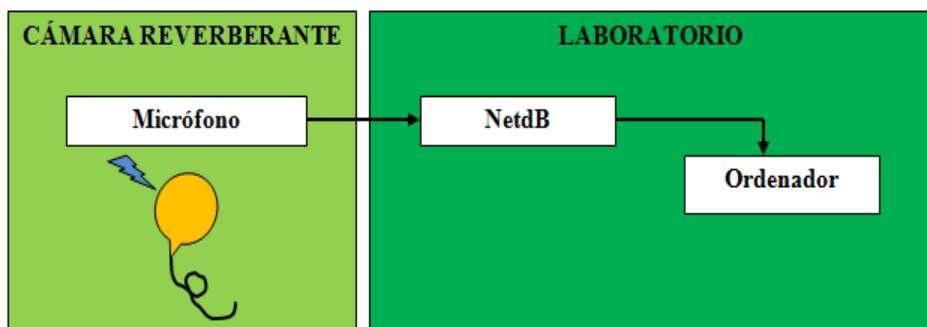
### 2.2.2 Conexión entre equipos

Para realizar la medida se utilizará el sistema NetdB, que mediante un cable Ethernet está conectado a un ordenador de sobremesa.

El micrófono se conectará a la entrada de la unidad. El amplificador se conecta a la salida del ordenador y enviará la señal para excitar la fuente sonora, cuando sea necesario. Tanto el micrófono como la fuente sonora están situados en el interior de la cámara reverberante.



(a)



(b)

Figura 3.2.1: Diagramas de conexionado de los equipos empleados en la medida del tiempo de reverberación: (a) Ruido interrumpido, (b) Respuesta impulsiva.

### 2.2.3 Ensayo según norma

La medición de la absorción acústica en cámara reverberante se realiza según la Norma UNE-EN ISO 354:2004 [11], versión oficial en castellano de la Norma Europea EN ISO 345:2003 que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 354:2003.

Si se desean homologar las medidas en el laboratorio es necesario que se cumplan las condiciones que impone la normativa, referentes a la instrumentación de medida, la manera de adquirir los datos y el modo de presentarlos.

A continuación se detallan dichas condiciones a cumplir para obtener unos resultados apropiados.

### Rango de frecuencias

Las mediciones deben realizarse en las bandas de tercio de octava con las siguientes frecuencias centrales, en hercios, tal y como se especifica en la Norma ISO 266:

100	125	160	200	250	315	400	500	630
800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000

Pueden realizarse medidas adicionales en bandas de tercio de octava con frecuencias centrales especificadas en la Norma ISO 266 y que estén fuera de este rango. Especialmente en bajas frecuencias (por debajo de 100 Hz), podría resultar difícil obtener resultados precisos debido a la baja densidad modal de la cámara reverberante.

### Características de la cámara reverberante

- El volumen de la cámara reverberante debe ser, por lo menos, 150 m<sup>3</sup>. Para las cámaras de nueva construcción se recomienda que el volumen sea, por lo menos 200 m<sup>3</sup>.
- La forma de la cámara reverberante debe cumplir la condición dada en la ecuación (3.2.1):

$$l_{\text{máx}} < 1,9 V^{\frac{1}{3}} \quad (3.2.1)$$

donde

$l_{\text{máx}}$  es el mayor segmento inscrito en la cámara (en la cámara rectangular será la diagonal mayor) en metros;

$V$  es el volumen de la cámara en m<sup>3</sup>.

Para conseguir una distribución uniforme de los modos propios dentro de la cámara y evitar focos de reverberación aislados, la cámara no debe tener superficies perfectamente paralelas ni dimensiones cuya relación coincida con los dos primeros números enteros.

- Durante la caída de nivel sonoro, el campo en la cámara debe ser suficientemente difuso. Para conseguir una difusión satisfactoria cualquiera que sea la forma de la cámara se requiere, en general, el uso de difusores.
- El área de absorción sonora equivalente de la cámara vacía,  $A_1$ , en bandas de tercio de octava, no debe superar los valores dados en la Tabla 3.2.1.

Tabla 3.2.1: Áreas máximas de absorción sonora equivalente para cámaras de volumen  $V = 200 \text{ m}^3$ .

Frecuencia [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Área de absorción sonora equivalente [m <sup>2</sup> ]	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5

Frecuencia [Hz]	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Área de absorción sonora equivalente [m <sup>2</sup> ]	6,5	7,0	7,5	8,0	9,5	10,5	12,0	13,0	14,0

Si el volumen  $V$  de la cámara difiere de  $200 \text{ m}^3$ , los valores de la Tabla 3.2.1 deben multiplicarse por  $(V/200)^{2/3} [\text{m}^3]$ .

La gráfica del área de absorción sonora equivalente de la cámara en función de la frecuencia debe mostrar una curva lisa y no presentar baches ni picos que difieran más del 15% de la media de los valores de los dos tercios de octava contiguos.

### Características de la muestra de ensayo

La muestra debe tener un área entre  $10 \text{ m}^2$  y  $12 \text{ m}^2$ . Si el volumen  $V$  de la cámara es mayor de  $200 \text{ m}^3$ , el límite superior para el área de la muestra de ensayo debe incrementarse en el factor  $(V/200)^{2/3} [\text{m}^3]$ .

El área elegida depende del volumen de la cámara y de la capacidad de absorción de la muestra de ensayo. Cuanto mayor sea la cámara, mayor debe ser la superficie de la muestra. Para muestras con bajos coeficientes de absorción, se debe elegir el área de superficie límite superior.

Debería colocarse de forma que ninguna parte diste menos de 1 m de las aristas de la cámara; ésta distancia debe ser al menos 0,75 m. Preferiblemente, los bordes de la muestra no deben colocarse paralelos a la arista más próxima de la cámara.

La muestra debe colocarse de acuerdo a alguno de los montajes especificados en el Anexo B de la Norma UNE-EN ISO 354:2004 [11], a menos que el fabricante especifique montajes especiales o que la aplicación posterior así lo requiera.

**Condiciones de temperatura y humedad relativa**

Los resultados obtenidos se pueden ver afectados por las variaciones de temperatura y humedad que tengan lugar durante el transcurso de la medición del tiempo de reverberación, especialmente en altas frecuencias y con humedades relativas bajas. Estas cantidades de variación se dan en la Norma ISO 9613-1 [10].

Las medidas han de realizarse tanto en la cámara vacía como en la cámara con la muestra de ensayo. La humedad relativa ha de ser como mínimo 30% y como máximo 90%, a una temperatura constante de, al menos, 15° durante todo el ensayo.

En cada medición han de hacerse correcciones debidas a la absorción del aire.

Antes de realizar el ensayo, la muestra debe alcanzar el equilibrio con la temperatura y la humedad, es decir, se debe esperar un tiempo a que se estabilice.

**MEDIDAS DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN**

En la Norma UNE-EN ISO 354:2004 [11] se describen dos métodos de medida de las curvas de caída de nivel: el método de la señal de ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada. La curva de caída medida con el método de la señal de ruido interrumpido es el resultado de un proceso estadístico y es obligatorio promediar varias curvas de caída o tiempos de reverberación, medidos en una posición de altavoz y micrófono, para obtener una repetibilidad adecuada. El método de la respuesta impulsiva integrada de un recinto es una función determinista y no está sujeta a desviaciones estadísticas, por lo tanto no es necesario promediar. Sin embargo, requiere una instrumentación y un procesamiento de datos más sofisticados que el método de la señal de ruido interrumpido.

Condiciones del sistema de medida:

- La característica directiva de los micrófonos empleados para las mediciones debe ser omnidireccional. Las mediciones deben realizarse con diferentes posiciones de micrófono que disten por lo menos 1,5 m entre ellas, 2 m de cualquier fuente sonora y 1 m de cualquier superficie de la cámara y de la muestra de ensayo.
- El campo sonoro en la cámara reverberante debe generarse con una fuente sonora con patrón de radiación omnidireccional. Deben emplearse diferentes posiciones de fuente sonora que disten por lo menos 3 m.

- El número de curvas de caída de nivel medidas en posiciones diferentes debe ser como mínimo 12. Por lo tanto, el número de posiciones de micrófono por el número de posiciones de fuente sonora debe ser al menos 12. El número mínimo de posiciones de micrófono debe ser tres, y el número mínimo de posiciones de fuente sonora debe ser dos.

### **Método de la señal de ruido interrumpido**

- **Excitación de la cámara**

Debe emplearse un altavoz cuya señal de entrada será un ruido de banda ancha o de banda limitada con un espectro continuo en frecuencia. Cuando se emplee ruido de banda ancha y un analizador de tiempo real, el espectro de ruido empleado debe ser tal que las diferencias en los niveles de presión sonora resultantes en la cámara sean menores de 6 dB en bandas de tercio de octava adyacentes. Cuando se emplee ruido de banda ancha limitada el ancho de banda debe ser por lo menos un tercio de octava.

La señal de excitación debe ser lo suficientemente larga como para producir un nivel de presión estacionario en todas las bandas de frecuencia de interés antes de ser interrumpido. Con el fin de obtener condiciones de campo estacionario, el tiempo de excitación debe ser al menos la mitad del tiempo de reverberación esperado.

El nivel de la señal de excitación antes de la caída debe ser lo suficientemente alto como para que el nivel, en decibelios, más bajo del rango de evaluación esté, como mínimo, 10 dB por encima del nivel del ruido de fondo, y el nivel de presión sonora del ruido emitido esté, por lo menos, 35 dB por encima del nivel de ruido de fondo.



- **Promediado**

Es obligatorio promediar varias mediciones tomadas en una posición de micrófono – altavoz con objeto de reducir la incertidumbre de la medición causada por desviaciones estadísticas. El número de promedios debe ser por lo menos tres. Es posible realizar el promediado con dos métodos:

- Método del promediado de conjunto: consiste en promediar las curvas de caída de nivel registradas en una de las posiciones micrófono – altavoz empleando la fórmula (3.2.2):

$$L_p(t) = 10 \lg \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pn}(t)}{10}} \right] \quad (3.2.2)$$

donde

$L_p(t)$  es el nivel de presión sonora promedio en un tiempo  $t$  calculado para un número total de caídas  $N$ ;

$L_{pn}(t)$  es el nivel de presión sonora de la caída  $n$ -ésima en el tiempo  $t$ .

- El segundo método se emplea cuando no es posible utilizar el promediado de conjunto, por lo tanto debe evaluarse primero cada curva de caída de nivel. Los tiempos de reverberación resultantes deben promediarse empleando promediado aritmético. Las curvas de caída grabadas en diferentes posiciones de micrófono – altavoz no deben promediarse.

- **Sistema de adquisición**

El sistema de adquisición debe consistir en un detector de nivel o cualquier otro sistema adecuado para determinar la pendiente promedio de la curva de caída y el correspondiente tiempo de reverberación, incluyendo los necesarios amplificadores y filtros.

La instrumentación para la adquisición (y presentación y/o evaluación) de la caída del nivel de presión sonora puede emplear:

- a) Promediado exponencial, cuya salida es una curva continua;
- b) Promediado exponencial, cuya salida es una secuencia de muestras discretas de la curva continua;
- c) Promediado lineal, cuya salida es una secuencia de valores promediados linealmente, en ocasiones con pausas de considerable duración entre valores sucesivos.

El tiempo de promediado de un instrumento de promediado lineal debe ser menor que  $T/12$ .

### **Método de la respuesta impulsiva integrada**

- **Método directo**

La respuesta impulsiva puede medirse directamente empleando una fuente impulsiva tipo disparo de pistola, explosión de globo, generador de chispas o cualquier otra fuente sonora que produzca un impulso con suficiente ancho de banda y energía.

- **Sistema de adquisición**

El sistema de adquisición debe consistir en micrófonos y amplificadores que cumplan las condiciones especificadas en la Norma [11], además de un instrumento adicional capaz de digitalizar la señal grabada y de realizar el procesamiento de datos necesario, incluyendo la integración de la respuesta impulsiva y la evaluación de la curva de caída.

La señal impulsiva se debe filtrar en bandas de tercio de octava.

- **Integración de la respuesta impulsiva**

La respuesta impulsiva filtrada debe integrarse invertida en el tiempo. Teóricamente el resultado es equivalente a un número infinito de caídas de nivel promediadas y obtenidas con el método de la excitación con ruido interrumpido. Existen diversos sistemas comerciales que ofrecen la integración invertida en tiempo como opción de integración y, por lo tanto, normalmente no será necesario para el usuario programar la integración.

### **Evaluación del tiempo de reverberación basado en las curvas de caída de nivel**

La evaluación de las curvas de caída de cada banda de frecuencia debe comenzar 5 dB por debajo del nivel inicial de presión sonora. El rango de evaluación debe ser de 20 dB. El fin de este rango debe estar por lo menos 10 dB por encima del nivel de ruido de fondo del sistema de media.

### 2.2.4 Descripción de la muestra

El sistema de muestras utilizado para la medida está compuesto de material poroso.

La Norma [11] especifica que la muestra de material absorbente utilizada debe tener una relación anchura/largo de entre 0,7 y 1.

En este caso se utilizaron muestras de diferentes tamaños y grosores para que el sistema cubriera la mayor superficie posible de la cámara reverberante, y así poder cumplir la condición de que el sistema de muestras debe cubrir entre  $10 \text{ m}^2$  y  $12 \text{ m}^2$ . De esta forma se consigue que la muestra de material absorbente ocupe una superficie de  $12 \text{ m}^2$ .

El montaje utilizado es el tipo A, definido en el Anexo B de la Norma [11].

Dicho montaje se puede visualizar en la Figura 3.2.2.



Figura 3.2.2: Disposición de la muestra en la cámara reverberante.

### 2.2.5 Desarrollo de la medida

En primer lugar hay que comprobar que se cumplen los requisitos y condiciones de medida expuestos en la Norma UNE-EN ISO 354:2004 [11].

La cámara reverberante en la que se realizaron las medidas está situada en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Madrid, cuyas vistas y dimensiones se pueden observar en la Figura 3.1.2 y en la Figura 3.1.3. La altura de la cámara es de 2,05 m.

Su volumen es  $206 \text{ m}^3$  y su superficie es de  $344 \text{ m}^2$ .

Aplicando el dato de volumen a la ecuación (3.2.1) se obtiene que el segmento mayor inscrito en la cámara no debería superar los 11,22 m. Como se puede observar en la Figura 3.1.2, el segmento más largo inscrito en la cámara es la diagonal mayor, cuya longitud es de 12,60 m. Esto hace que la condición de la cámara reverberante impuesta por la Norma [11] no se cumpla. A pesar de ello, con el propósito de buscar la normalización, se supondrá un campo sonoro difuso. Esto significa que se asu mirá una incidencia aleatoria del sonido en las superficies y que el nivel de presión acústica será el mismo independientemente del punto de medida. Se hace esta suposición ya que se admite que se trata de una cámara bien diseñada y, por lo tanto, el campo sonoro dentro de ella se va a asemejar en gran medida a un campo sonoro difuso. En este sentido, la absorción sonora medida en la cámara se aproximará, de la misma manera, a la absorción sonora medida bajo las condiciones básicas de normalización.

Para mejorar la dispersión del campo la cámara cuenta con difusores suspendidos del techo.

Antes de comenzar la medición se ha de implementar el diagrama de conexionado que se muestra en la Figura 3.2.1, según el método que se esté empleando en la medida del tiempo de reverberación.

A continuación se debe configurar correctamente el sistema de adquisición, tal y como se indica en el *Capítulo 2* en el apartado 2 *Configuración*.

Para realizar las medidas de tiempo de reverberación se usará un solo micrófono, cuyas características e imagen se muestran en la Figura 3.1.4.

Las condiciones para las posiciones de micrófono y de la fuente se han especificado en el apartado 2.2.3 *Ensayo según norma*.

Para la medición de tiempo de reverberación se han elegido tres posiciones para la fuente y cuatro posiciones de micrófono para cada posición de la fuente, es decir, doce combinaciones fuente – micrófono, tal y como especifica la Norma [11].

En la Figura 3.1.5 se muestra un esquema de las posiciones que se han elegido, que como se puede observar, son representativas del espacio del recinto. Estas posiciones cumplen los requisitos que se especifican en la Norma UNE-EN ISO 354:2004 [11].

A partir de este momento se debe hacer la distinción entre los dos métodos de medición especificados en la Norma UNE-EN ISO 354:2004 [11].

### 2.2.5.1 Ruido interrumpido

#### Emisión

Es necesario configurar la emisión. Como ya se ha mencionado anteriormente, la versión de dBBATI32 de 01 dB –Metravib de la que se dispone no contiene el módulo dBRTA, el cual es necesario para poder emitir con NetdB. Por ello fue necesario adoptar una solución alternativa, la cual consiste en utilizar un generador dBGene existente en el paquete dBFA de 01 dB –Metravib, y emitir a través de la tarjeta de sonido del ordenador.

Se abre el generador dBGene que pertenece a dBFA.

Para la medida del tiempo de reverberación se va a utilizar Ruido Rosa.

Este generador es el que se muestra en la Figura 3.1.8.

- **Ruido de fondo**

No hay generador.

- **Espectro estándar**

Se emite ruido rosa durante 17 s, pues el proceso de emisión – medición no está automatizado, y con esta duración de la emisión se asegura que dará tiempo a iniciar y detener tanto la fuente como la medición sin que se registren caídas de nivel de presión sonora.

- **Tiempo de reverberación**

Se emite ruido rosa durante 10 s, que será más que suficiente para que el campo acústico alcance un estado estacionario antes de apagar la fuente y dé tiempo a iniciar y detener la emisión y la medición, registrándose la caída de nivel al completo.

#### Recepción

En la ventana principal de dBBati, dentro de *Adquisición* se crea un controlador de medida seleccionando la opción *Nuevo* de dicho menú. En la pestaña *Configurar* se elegirán los tres tipos de señales que se van a analizar: *ruido de fondo*, *espectro estándar* y *tiempo de reverberación*, tal y como se muestra en la Figura 3.1.6.

**Configuración de parámetros:**

Aunque no es necesario, se medirá el espectro estándar y el ruido de fondo con el fin de comprobar que se cumple la condición que dicta la Norma [11] referente que entre el ruido emitido y el ruido de fondo debe existir una diferencia de 35 dB como mínimo. Esta condición se puede comprobar en las caídas de nivel registradas en la medición del tiempo de reverberación. Además, realizando esta medición se puede comprobar también que el espectro del ruido emitido es plano y no existen diferencias de nivel mayores que 6 dB entre bandas adyacentes de tercio de octava. Es por esto que sólo se realizará la medida de espectro estándar y ruido de fondo en una posición, pues para comprobar el cumplimiento de dichas condiciones es suficiente.

Se establece que la duración de las medidas será de 15 s, pues el proceso de emisión – medición no está automatizado y así se garantiza que da tiempo suficiente a iniciar y detener todo el proceso manualmente.

**Configuración de parámetros:**

Las medidas se realizarán en tercios de octava, con un margen de frecuencias entre 100 Hz y 5000 Hz.

- **Ruido de fondo**

La duración de la medida será de 15 s.

Se promediarán tres medidas en cada punto.

- **Espectro estándar**

La duración de la medida será de 15 s.

Se realizará un promediado de tres medidas en cada punto.

- **Tiempo de reverberación**

La duración de la medida será de 15 s.

Es necesario seleccionar que se va a emplear el método de ruido interrumpido.

Es necesario indicar con una constante el valor de los pasos temporales. El valor de esta constante depende del tipo de procesador. En este caso el procesador del que se dispone es lineal, por lo tanto el valor de dicha constante ha de ser menor que  $T/12$ , siendo  $T$  el menor tiempo de reverberación que se registra en el recinto. En función de si está montada o no la muestra tenemos que el valor de dicha constante será:

- Cámara vacía: el menor tiempo de reverberación registrado es de 2,11 s, por lo tanto, el valor de la constante para los pasos temporales ha de ser menor que 172 ms.
- Cámara con muestra de material absorbente: el menor tiempo de reverberación registrado es de 1,31 s, por lo tanto, el valor de la constante para los pasos temporales ha de ser menor que 109 ms.

Se determina que para ambos casos el valor de la constante será 100 ms.

Se promedian tres medidas en cada punto, y se ha de seleccionar la pestaña *Almacenamiento de espectros intermedios*. En cuanto al rango dinámico, se selecciona comenzar en -5 dB y dinámica de 20 dB.

Estos parámetros de configuración del tiempo de reverberación se muestran en la Figura 3.1.7.

Una vez configurada la medida se procede a comenzar la medición.

En la medida de espectro estándar de emisión y de tiempo de reverberación se inicia primero el generador e inmediatamente después se activa la medida en el botón de comenzar medida de dBbati.

En cada punto se realizan tres medidas. Será necesario validar cada uno de los conjuntos de caídas de nivel de señal, y una vez validadas las tres medidas de cada punto aparecerá el promedio en la ventana principal de dBbati. Se repite el proceso para cada una de las combinaciones fuente – micrófono.

Una vez realizada la medición en la cámara reverberante vacía, se coloca la muestra de material absorbente directamente sobre el suelo a más de 1 m de las aristas de la cámara. La disposición de la muestra para la realización de la medida se corresponde con el montaje tipo A dado en el Anexo B de la Norma [11].

Se vuelve a medir el tiempo de reverberación como se ha indicado anteriormente, no siendo necesario cambiar ningún parámetro de configuración.

### 2.2.5.2 Respuesta impulsiva integrada

#### Emisión

Como no se dispone de ningún generador automático de señal impulsiva se determinó como fuente impulsiva la explosión de globos, tal como se indica en la Figura 3.2.1 (b).

#### Recepción

En dBBAti, dentro de *Adquisición* se crea un controlador de medida seleccionando la opción *Nuevo* de dicho menú. En la pestaña *Configurar* se elige *tiempo de reverberación*.

Configuración de parámetros:

Las medidas se realizarán en tercios de octava, con un margen de frecuencias entre 100 Hz y 5000 Hz.

Con este método no es necesario hacer un promediado de varias medidas en cada punto, tal y como se ha especificado en el apartado 2.2.3 *Ensayo según norma*.

El cumplimiento de la condición que impone la Norma [11] referente a que la diferencia de nivel entre el nivel de ruido emitido y el nivel de ruido de fondo ha de ser mayor que 35 dB se puede comprobar en las caídas de nivel registradas por el sistema de adquisición, por lo tanto, no se medirá ni el espectro de emisión ni el ruido de fondo.

La duración de la medida será de 15 s, pues el proceso de emisión – medición no está automatizado y en el caso del método de señal impulsiva es bastante más complejo, como se ha explicado en el apartado 1.2.4.2 *Respuesta impulsiva integrada*, ya que de esta manera se consigue disponer del tiempo suficiente para poder realizar la explosión de globos y la medición correctamente.

Es necesario seleccionar que se va a emplear el método de respuesta impulsiva integrada.

En este caso el valor de la constante para los pasos temporales será diferente para la cámara vacía y para la cámara con la muestra de material absorbente, ya que para este método da una mayor precisión en la pendiente de la caída:

- Cámara vacía: el menor tiempo de reverberación registrado es de 2,11 s, por lo tanto, el valor de la constante ha de ser menor que 172 ms, y se elige un valor de 130 ms.
- Cámara con muestra de material absorbente: el menor tiempo de reverberación registrado es de 1,31 s, por lo tanto, el valor de la constante ha de ser menor que 109 ms y se elige un valor de 100 ms.



En cuanto al rango dinámico, se selecciona comenzar en -5 dB y dinámica de 20 dB.

La configuración de estos parámetros se puede observar en la Figura 3.1.9.

Una vez realizada la configuración se procede a la medición. Es necesario que una persona esté dentro de la cámara efectuando la explosión de los globos.

Cuando se han realizado las mediciones en las 12 posiciones de medida independientes con cámara vacía se procede a la inserción de la muestra de material absorbente según el montaje tipo A de la Norma [11], y se vuelve a repetir el proceso de medición. En este caso únicamente sería necesario cambiar un parámetro, el de los pasos temporales, que, como se ha indicado anteriormente, se utilizará una constante de valor diferente cuando la cámara está vacía y cuando la cámara contiene la muestra de material absorbente.

A partir del tiempo de reverberación se calculará el área de absorción equivalente  $A_1$  y  $A_2$ , sin muestra y con muestra de material, respectivamente, y con estos valores se calculará el coeficiente de absorción de la muestra de material absorbente.

Las medidas se deben realizar en condiciones de temperatura y humedad relativa tal que, los ajustes debidos a la absorción del aire no sean significativos. Por tanto hay que hacer una medida de tales parámetros previamente.

### 2.3 Cálculos y resultados obtenidos

En este punto se realizarán los cálculos oportunos para obtener el coeficiente de absorción a partir de los datos de tiempo de reverberación de la cámara, tanto vacía como con el sistema bajo ensayo en su interior. Se podrá observar cómo se modifica el nivel de los valores medidos dependiendo de si está el material presente o no.

Antes de comenzar cualquier medida, hay que realizar un registro de la temperatura y de la humedad relativa del aire dentro de la cámara con el material y sin él. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.2.

Tabla 3.2.2: Temperatura y humedad relativa de la cámara reverberante.

	CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA CÁMARA	
	Sin muestra	Con muestra
Temperatura [°C]	24,0	24,9
Humedad relativa [%]	39,4	38,0

Se observa de este resultado que la presencia de la muestra afecta al entorno. Aquí se puede ver cómo modifica las condiciones atmosféricas aumentando la temperatura y disminuyendo la humedad relativa.

A continuación se va a diferenciar entre los dos métodos empleados para la medida del tiempo de reverberación según la Norma [11].

### 2.3.1 Ruido interrumpido

En primer lugar se hace la toma del ruido de fondo y del ruido emitido sin la muestra de material absorbente, posteriormente se introduce la muestra y se vuelve a medir tal y como se indicó en el apartado 2.2.5 *Desarrollo de la medida*.

Las tablas están ordenadas de tal manera que faciliten la comparación entre los valores y no por el orden de adquisición de los datos.

Tabla 3.2.3: Ruido de fondo en la cámara vacía y con la muestra de material absorbente presente en el interior de la cámara.

NIVELES DE RUIDO DE FONDO MEDIDOS EN LA CÁMARA REVERBERANTE		
Frecuencia	Sin muestra [dB]	Con muestra [dB]
100	30,7	22,0
125	28,6	22,0
160	23,9	26,5
200	24,9	21,5
250	24,0	16,1
315	22,8	16,4
400	22,4	15,3
500	26,2	14,6
630	21,2	14,8
800	19,5	15,0
1000	21,1	15,0
1250	21,0	15,4
1600	21,7	15,7
2000	20,7	16,2
2500	19,8	16,7
3150	19,5	17,3
4000	19,3	17,7
5000	20,1	18,5

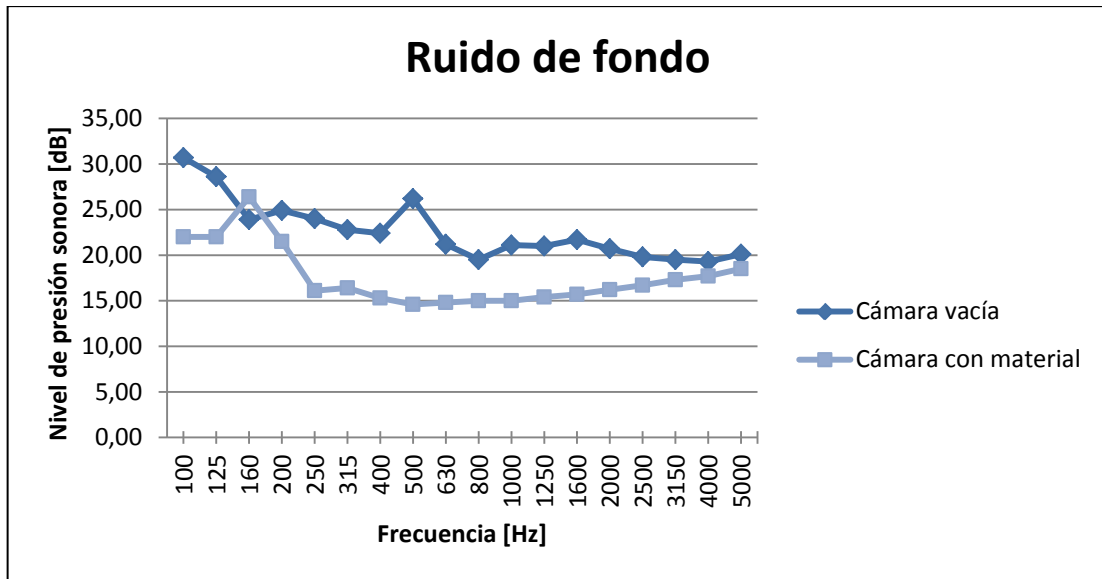


Figura 3.2.3: Ruido de fondo en la cámara vacía y con la muestra de material absorbente presente en el interior de la cámara.

Se advierte que hay una disminución en el nivel de ruido de fondo cuando se introduce la muestra.

En la Tabla 3.2.4 se muestran los niveles de presión sonora emitidos en la cámara vacía y con la muestra de material absorbente presente en el interior de la cámara.

Tabla 3.2.4: Ruido emitido en la cámara vacía y con la muestra de material absorbente presente en el interior de la cámara.

NIVELES DE RUIDO EMITIDO MEDIDOS EN LA CÁMARA REVERBERANTE		
Frecuencia	Sin material [dB]	Con material [dB]
100	78,3	79,2
125	83,3	81,9
160	85,8	83,6
200	87,1	86,8
250	87,9	83,7
315	88,9	82,3
400	86,2	81,8
500	85,1	79,5
630	82,9	78,1
800	81,4	74,9
1000	79,5	73,8
1250	79,9	74,7
1600	81,4	76,2
2000	77,8	73,1
2500	76,4	71,5
3150	74,1	69,9
4000	71,6	67,5
5000	71,2	68,8

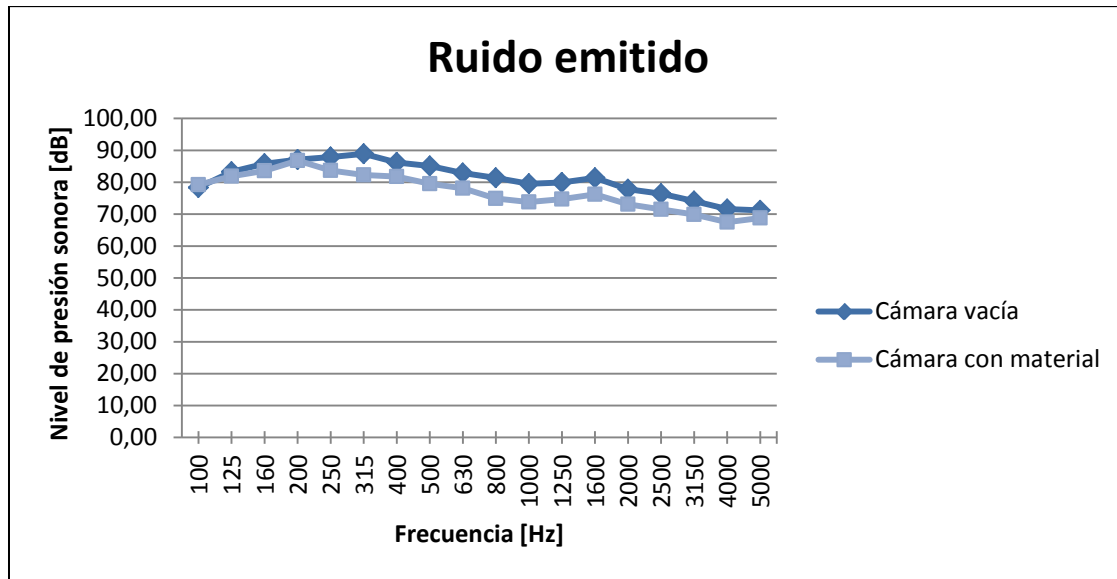


Figura 3.2.4: Ruido emitido en la cámara vacía y con la muestra de material absorbente presente en el interior de la cámara.

Se puede comprobar cómo ocurre lo mismo que con el ruido de fondo: ante la presencia de la muestra de material se produce una disminución leve del nivel. Además se verifica que el espectro de emisión es bastante plano, y que no existen diferencias de nivel mayores que 6 dB entre bandas adyacentes de tercio de octava.

Otro de los requisitos a cumplir impuesto por la Norma [11] antes de realizar las medidas del tiempo de reverberación, y por consiguiente del coeficiente de absorción, es el cumplimiento del margen mínimo de 35 dB entre el ruido emitido y el ruido de fondo en el peor de los casos.

El cumplimiento de esta condición se puede observar en las caídas de nivel registradas por el sistema de adquisición, no obstante se midió el espectro de emisión y el de ruido de fondo en una única posición a modo de ejemplo.

Seguidamente se confirma que tanto con la muestra como sin ella, la diferencia de nivel es superior a 35 dB, cumpliendo así el requerimiento de la Norma UNE-EN ISO 354:2004.

Tabla 3.2.5: Diferencia de niveles de ruido en la cámara reverberante vacía.

DIFERENCIA DE NIVELES DE RUIDO EN LA CÁMARA VACÍA		
Frecuencia [Hz]	Ruido emitido [dB]	Ruido de fondo [dB]
100	78,3	30,7
125	83,3	28,6
160	85,8	23,9
200	87,1	24,9
250	87,9	24,0
315	88,9	22,8
400	86,2	22,4
500	85,1	26,2
630	82,9	21,2
800	81,4	19,5
1000	79,5	21,1
1250	79,9	21,0
1600	81,4	21,7
2000	77,8	20,7
2500	76,4	19,8
3150	74,1	19,5
4000	71,6	19,3
5000	71,2	20,1

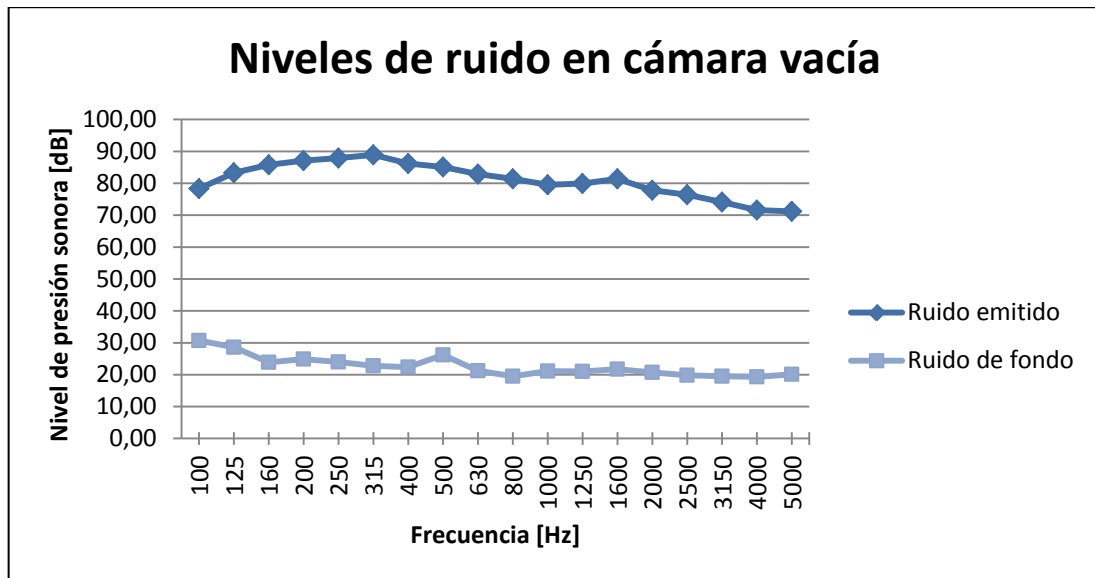


Figura 3.2.5: Diferencia de niveles de ruido en la cámara reverberante vacía.

Tabla 3.2.6: Niveles de ruido medidos en la cámara reverberante con el material absorbente.

NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN LA CÁMARA CON EL MATERIAL		
Frecuencia [Hz]	Ruido emitido [dB]	Ruido de fondo [dB]
100	79,2	22,0
125	81,9	22,0
160	83,6	26,5
200	86,8	21,5
250	83,7	16,1
315	82,3	16,4
400	81,8	15,3
500	79,5	14,6
630	78,1	14,8
800	74,9	15,0
1000	73,8	15,0
1250	74,7	15,4
1600	76,2	15,7
2000	73,1	16,2
2500	71,5	16,7
3150	69,9	17,3
4000	67,5	17,7
5000	68,8	18,5

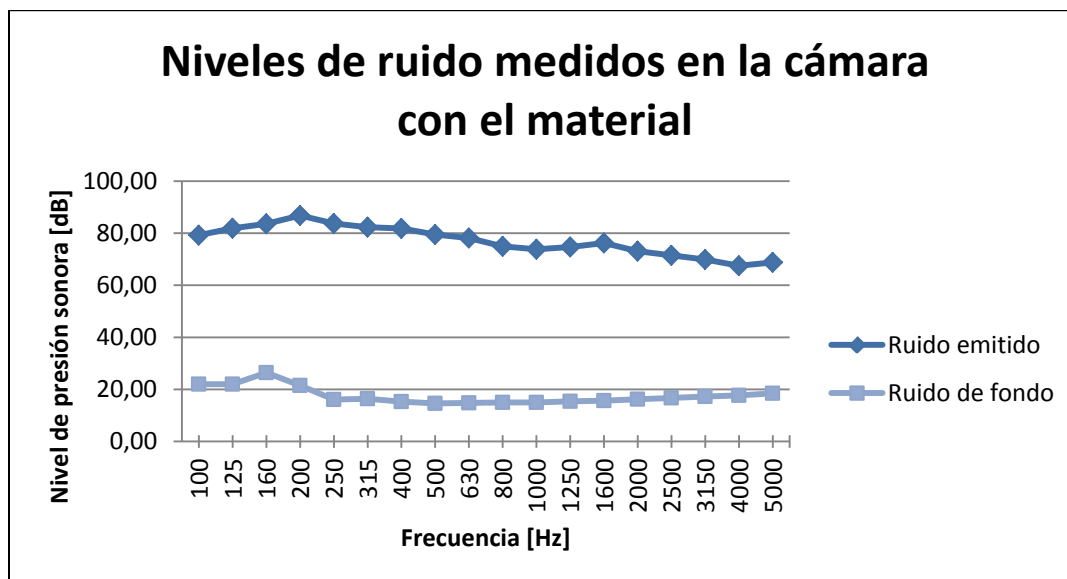


Figura 3.2.6: Niveles de ruido medidos en la cámara reverberante con el material absorbente.

El tiempo de reverberación obtenido en cada una de las posiciones fuente – micrófono es el resultado de promediar tres caídas diferentes en cada una de ellas. El objetivo de haber registrado tres caídas en cada posición es disminuir la incertidumbre en las medidas.

El promediado se realizará según el segundo método expuesto en la Norma [11], es decir, evaluando cada una de las caídas por separado y promediando los tiempos de reverberación obtenidos.

- **Cámara reverberante vacía**

En primer lugar se muestra el tiempo de reverberación obtenido en la cámara reverberante vacía, en la Tabla 3.2.7. Seguidamente, se harán los cálculos pertinentes para obtener el área de absorción sonora equivalente cuando todavía no se ha introducido la muestra de material absorbente.

Los tiempos de reverberación se deben dar en bandas de frecuencia de un tercio de octava y expresarse con dos cifras decimales.

Tabla 3.2.7: Tiempos de reverberación obtenidos en las diferentes posiciones fuente – micrófono con la cámara vacía, empleando el método de ruido interrumpido.

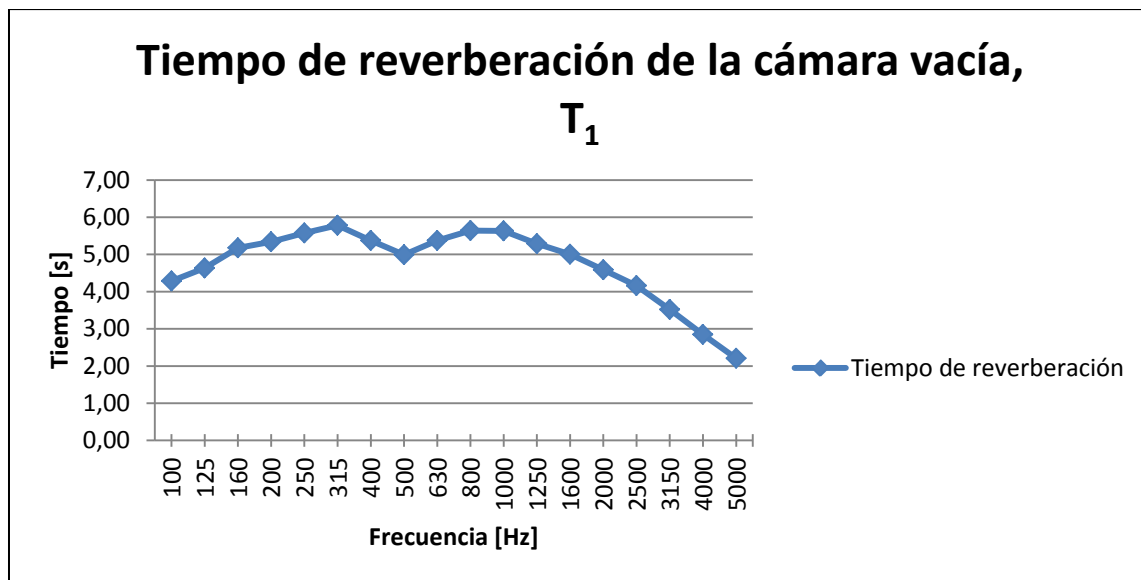
<b>TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE LA CÁMARA VACÍA</b>												
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1				Fuente posición A2				Fuente posición A3			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
100	4,63	3,63	5,21	3,51	3,94	4,15	5,82	3,27	4,85	4,51	5,51	4,28
125	5,19	4,32	3,71	5,09	4,66	6,22	4,55	4,46	4,58	5,35	4,90	4,27
160	4,59	5,89	4,99	5,44	6,00	5,04	5,13	5,99	5,19	3,42	5,07	4,87
200	5,64	5,81	6,46	5,23	5,51	5,45	5,11	5,46	5,86	4,59	5,76	5,89
250	5,20	5,41	5,68	4,96	5,68	5,20	5,86	5,66	5,93	4,73	5,99	5,01
315	5,41	5,43	5,59	4,83	5,90	5,17	5,84	5,75	5,23	4,98	6,02	5,56
400	5,33	5,34	5,77	4,68	5,44	5,39	4,87	5,46	5,22	5,02	5,36	5,48
500	4,70	5,12	5,02	4,66	4,93	4,89	5,16	5,01	4,82	4,97	5,17	4,75
630	4,94	5,50	4,95	4,65	5,32	5,36	5,04	5,33	4,99	5,16	5,24	4,97
800	5,47	5,21	4,69	5,27	5,42	5,32	5,36	5,39	5,20	5,12	5,10	5,45
1000	5,27	5,25	5,05	4,99	5,22	5,51	5,10	5,26	5,30	5,35	5,21	5,28
1250	5,23	5,07	5,43	5,26	4,95	5,02	4,98	5,19	5,21	4,89	5,22	5,10
1600	4,63	4,63	4,63	4,80	4,65	4,67	4,50	4,82	4,87	4,88	4,79	4,57
2000	4,25	4,26	4,37	4,49	4,21	4,25	4,16	4,35	4,22	4,25	4,25	4,19
2500	3,82	3,82	3,95	3,94	3,82	3,93	3,83	3,74	3,76	3,74	3,97	3,72
3150	3,30	3,28	3,19	3,15	3,33	3,30	3,25	3,21	3,31	3,32	3,37	3,29
4000	2,63	2,68	2,76	2,62	2,8	2,79	2,77	2,64	2,71	2,71	2,69	2,73
5000	2,15	2,19	2,11	2,11	2,24	2,21	2,22	2,16	2,16	2,18	2,19	2,15

Una vez hecho esto, se promedian aritméticamente los tiempos de reverberación obtenidos de cada posición fuente – micrófono. Este valor promedio se muestra en la Tabla 3.2.8.

Tabla 3.2.8: Tiempo de reverberación promedio en cámara vacía,  $T_1$ .

<b>TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE LA CÁMARA VACÍA <math>T_1</math></b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tiempo de reverberación promedio [s]</b>
100	4,29
125	4,63
160	5,17
200	5,34
250	5,58
315	5,78
400	5,37
500	4,99
630	5,38
800	5,64
1000	5,63
1250	5,29
1600	5,01
2000	4,59
2500	4,16
3150	3,52
4000	2,85
5000	2,21

Se puede observar de manera gráfica en la Figura 3.2.7.

Figura 3.2.7: Tiempo de reverberación promedio medido en cámara vacía,  $T_1$ .



A partir de los datos del tiempo de reverberación en la cámara vacía,  $T_1$ , se obtendrá el área de absorción equivalente  $A_1$ , mediante la expresión (3.2.3).

$$A_1 = \frac{55,3 V}{c T_1} - 4 V m_1 \quad (3.2.3)$$

donde

$V$  volumen en  $m^3$  de la cámara reverberante vacía,  $206 m^3$ .

$T_1$  tiempo de reverberación en segundos de la cámara reverberante vacía.

$c$  velocidad de propagación del sonido en el aire en  $ms^{-1}$ . Con temperaturas entre  $15^\circ C$  y  $30^\circ C$  se puede calcular a partir de la expresión (3.2.4):

$$c = 331 + \frac{0,6t}{^\circ C} [m/s] \quad (3.2.4)$$

donde

$t$  temperatura del aire en grados centígrados,  $^\circ C$ .

Al introducir la temperatura del aire de la cámara vacía en la expresión (3.2.4) se obtiene que el valor de la velocidad del sonido en el aire tendrá el valor de  $345,40 m/s$ .

$m_1$  es el coeficiente de atenuación sonora en metros recíprocos, calculado de acuerdo con la Norma Internacional ISO 9613-1 [10] empleando para ello las condiciones climáticas de la cámara reverberante. El valor de  $m$  se puede calcular a partir de la atenuación por la absorción atmosférica,  $\alpha$ , de acuerdo con la fórmula (3.2.5):

$$m_1 = \frac{\alpha}{10 \lg e} \quad (3.2.5)$$

donde

$\alpha$  coeficiente de atenuación para la absorción atmosférica  $\alpha$ , en decibelios por metro,  $dBm^{-1}$ .

El coeficiente de atenuación para la absorción atmosférica  $\alpha$ , en decibelios por metro, se calcula a partir de la expresión (3.2.6).

$$\alpha = 8,686 f^2 \left( \left[ 1,84 \cdot 10^{-11} \cdot \left( \frac{p_a}{p_r} \right)^{-1} \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-1/2} \right] + \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-5/2} \cdot \left[ \left( 0,01275 \cdot e^{\frac{-2239,1}{T}} \cdot \left( f_{r0} + \frac{f^2}{f_{r0}} \right)^{-1} \right) + \left( 0,1068 \cdot e^{\frac{-3352,0}{T}} \cdot \left( f_{rN} + \frac{f^2}{f_{rN}} \right)^{-1} \right) \right] \right) \quad (3.2.6)$$

donde:

- $f$  frecuencia en hercios, Hz;
- $p_a$  presión atmosférica en kilo pascales, que midiéndola se obtuvo que eran 94,0 kPa;
- $p_r$  presión atmosférica de referencia, 101,325 kPa;
- $T$  temperatura atmosférica en kelvin (K), que midiéndola se obtuvo que eran 297,15 K;
- $T_0$  temperatura de referencia del aire, 293,15 K;
- $f_{r0}$  frecuencia del oxígeno en hercios, que se calcula mediante la ecuación (3.2.7):

$$f_{r0} = \frac{p_a}{p_r} \left( 24 + 4,04 \cdot 10^4 h \frac{0,02 + h}{0,391 + h} \right) \quad (3.2.7)$$

donde:

- $h$  concentración molar de vapor de agua expresado como porcentaje, %, que se calcula mediante la expresión (3.2.8):

$$h = h_T \frac{\frac{p_{sat}}{p_r}}{\frac{p_a}{p_r}} \quad (3.2.8)$$

donde

- $h_T$  es la humedad relativa, expresada como porcentaje, %.

$p_{sat}$  es la presión de saturación, que se puede calcular mediante la expresión (3.2.9).

$$\frac{p_{sat}}{p_r} = 10^C \quad (3.2.9)$$

donde

$C$  es el exponente que viene dado por la expresión (3.2.10).

$$C = -6,8346 \left( \frac{T_{01}}{T} \right)^{1,261} + 4,6151 \quad (3.2.10)$$

siendo  $T_{01}$  el valor del triple punto de temperatura isotérmica, esto es 273,16 kPa.

$f_{rN}$  frecuencia del nitrógeno en hercios, que se calcula mediante la expresión (3.2.11):

$$f_{rn} = \frac{p_a}{p_r} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-1/2} \cdot \left( 9 + 280h \exp \left\{ -4,170 \left[ \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-1/3} - 1 \right] \right\} \right) \quad (3.2.11)$$

Una vez calculado  $\alpha$ , podemos calcular el valor del coeficiente de atenuación sonora con cámara reverberante vacía,  $m_l$ , utilizando la expresión (3.2.5). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.9.

Tabla 3.2.9: Valores del coeficiente de atenuación sonora obtenidos en las condiciones ambientales de la cámara vacía,  $m_1$ .

<b>COEFICIENTE DE ATENUACIÓN SONORA DE LA CÁMARA VACÍA, <math>m_1</math></b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b><math>m_1</math> [<math>m^{-1}</math>]</b>
100	7,51E-05
125	1,12E-04
160	1,72E-04
200	2,45E-04
250	3,37E-04
315	4,49E-04
400	5,78E-04
500	7,04E-04
630	8,42E-04
800	1,00E-03
1000	1,19E-03
1250	1,45E-03
1600	1,87E-03
2000	2,46E-03
2500	3,37E-03
3150	4,84E-03
4000	7,25E-03
5000	1,08E-02

Una vez obtenidos los valores del coeficiente de atenuación sonora es posible calcular el área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante vacía,  $A_I$ , mediante la expresión (3.2.3).

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.10 y en el Figura 3.2.8.

Tabla 3.2.10: Área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante vacía,  $A_1$ , cuando se ha empleado el método de ruido interrumpido en la medida del tiempo de reverberación.

ÁREA DE ABSORCIÓN SONORA EQUIVALENTE DE LA CÁMARA VACÍA $A_1$		
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación, $T_1$ [s]	Área de absorción sonora equivalente, $A_1$ [m <sup>2</sup> ]
100	4,29	7,63
125	4,63	7,03
160	5,17	6,24
200	5,34	5,97
250	5,58	5,63
315	5,78	5,34
400	5,37	5,67
500	4,99	6,03
630	5,38	5,44
800	5,64	5,02
1000	5,63	4,88
1250	5,29	5,04
1600	5,01	5,04
2000	4,59	5,16
2500	4,16	5,15
3150	3,52	5,38
4000	2,85	5,60
5000	2,21	6,05

Como se puede observar, el área de absorción sonora de la cámara reverberante vacía no cumple los límites impuestos por la Norma [11] para las frecuencias más bajas según los datos de la Tabla 3.2.1, estas son 100 Hz y 125 Hz. Esto podría ser debido a que la cámara reverberante de la que se dispone para hacer las medidas tiene mucha superficie en el medio, tal y como se muestra en la Figura 3.1.3. Esta superficie es un elemento absorbente y, por lo tanto, está contemplada dentro del área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante vacía.

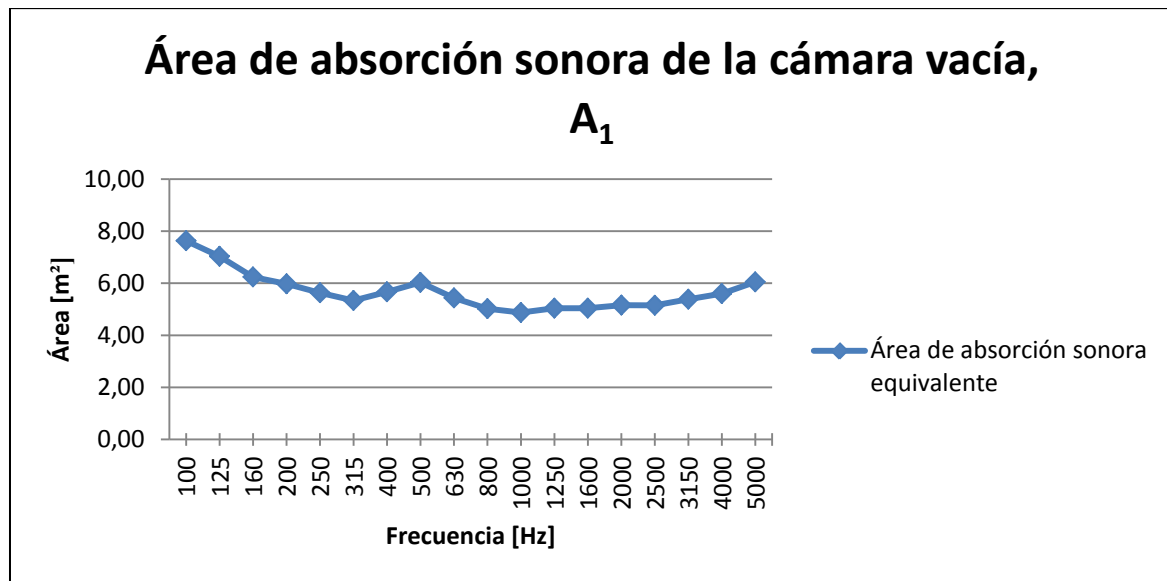


Figura 3.2.8: Área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante vacía,  $A_1$ , cuando se ha empleado el método de ruido interrumpido en la medida de tiempo de reverberación.

Como se puede observar, el valor del área de absorción sonora aumenta a medida que disminuye el tiempo de reverberación.

- **Cámara reverberante con muestra de material absorbente**

Seguidamente se mostrarán los valores obtenidos en las mediciones en la cámara reverberante con la muestra de material absorbente en su interior, comenzando por el tiempo de reverberación. Se compararán los tiempos obtenidos con y sin el material, y se verá en qué zona de frecuencia ejerce la mayor influencia.

Los valores de tiempo de reverberación obtenidos en la cámara con la muestra de material se pueden observar en la Tabla 3.2.11, y el valor promedio de estos tiempos en la Tabla 3.2.12.

Tabla 3.2.11: Tiempos de reverberación obtenidos en las diferentes posiciones fuente – micrófono en la cámara con la muestra de material, empleando el método de ruido interrumpido.

<b>TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE LA CÁMARA CON LA MUESTRA</b>												
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1				Fuente posición A2				Fuente posición A3			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
<b>100</b>	4,18	3,03	4,39	4,10	3,56	3,70	5,63	3,61	4,03	3,67	4,43	5,04
<b>125</b>	4,41	3,67	3,85	3,98	2,81	3,57	4,66	4,17	3,75	4,78	3,74	4,46
<b>160</b>	3,09	3,03	2,98	3,25	2,66	2,97	2,66	3,79	3,81	2,50	3,08	3,09
<b>200</b>	2,56	2,77	2,88	3,10	2,64	3,06	2,95	2,72	2,90	2,76	2,67	2,79
<b>250</b>	2,30	2,55	2,53	2,52	2,34	2,16	2,34	2,41	2,51	1,99	2,61	2,44
<b>315</b>	1,60	2,01	2,22	1,73	1,77	2,00	2,02	2,15	1,89	1,90	1,78	2,12
<b>400</b>	1,57	1,84	2,10	1,93	1,87	1,77	1,83	1,81	1,72	1,97	1,75	2,12
<b>500</b>	1,63	1,90	1,80	1,71	1,60	1,59	1,56	1,59	1,63	1,82	1,77	1,89
<b>630</b>	1,59	1,92	1,55	1,72	1,80	1,76	1,75	1,79	1,74	1,74	1,53	1,87
<b>800</b>	1,76	1,95	1,71	1,86	1,94	1,84	1,81	1,84	1,76	1,95	1,96	1,75
<b>1000</b>	1,76	1,65	1,71	1,64	1,81	1,70	1,91	1,79	1,72	1,77	1,78	1,78
<b>1250</b>	1,76	1,89	1,94	1,92	1,82	1,77	1,82	1,84	1,96	1,66	1,72	1,81
<b>1600</b>	1,73	1,96	1,83	1,93	1,91	1,74	1,94	1,78	1,97	1,79	1,72	1,86
<b>2000</b>	1,78	1,90	1,77	1,89	1,82	1,90	1,95	1,91	1,91	1,89	1,83	1,90
<b>2500</b>	1,75	1,83	1,84	1,89	1,90	1,86	1,88	1,91	1,88	1,83	1,86	1,68
<b>3150</b>	1,78	1,72	1,69	1,80	1,74	1,71	1,81	1,76	1,76	1,77	1,70	1,81
<b>4000</b>	1,63	1,53	1,69	1,59	1,53	1,65	1,58	1,59	1,63	1,54	1,53	1,55
<b>5000</b>	1,39	1,33	1,45	1,47	1,28	1,37	1,38	1,44	1,43	1,47	1,32	1,31

Tabla 3.2.12: Tiempo de reverberación promedio medido en la cámara reverberante con la muestra,  $T_2$ .

TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE LA CÁMARA CON LA MUESTRA, $T_2$	
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación promedio [s]
100	4,11
125	3,99
160	3,08
200	2,82
250	2,39
315	1,93
400	1,86
500	1,71
630	1,73
800	1,84
1000	1,75
1250	1,83
1600	1,85
2000	1,87
2500	1,84
3150	1,75
4000	1,59
5000	1,39

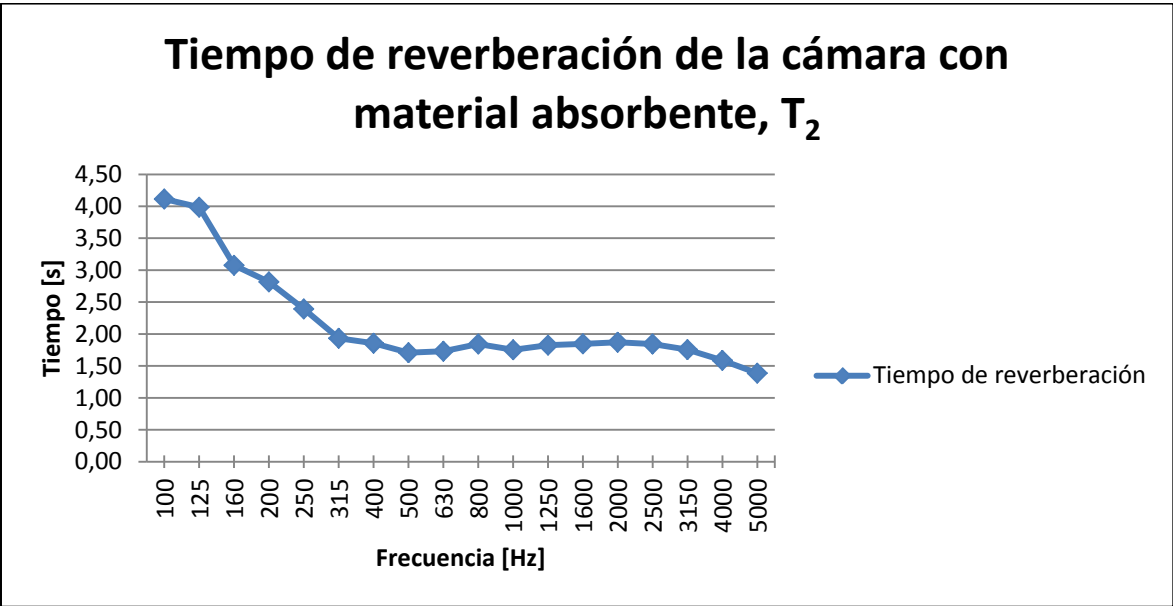


Figura 3.2.9: Tiempo de reverberación promedio de la cámara reverberante con material absorbente,  $T_2$ .

En la Figura 3.2.10 se muestran los tiempos de reverberación de la cámara con y sin muestra en su interior en la misma gráfica con el propósito de poder compararlos fácilmente.



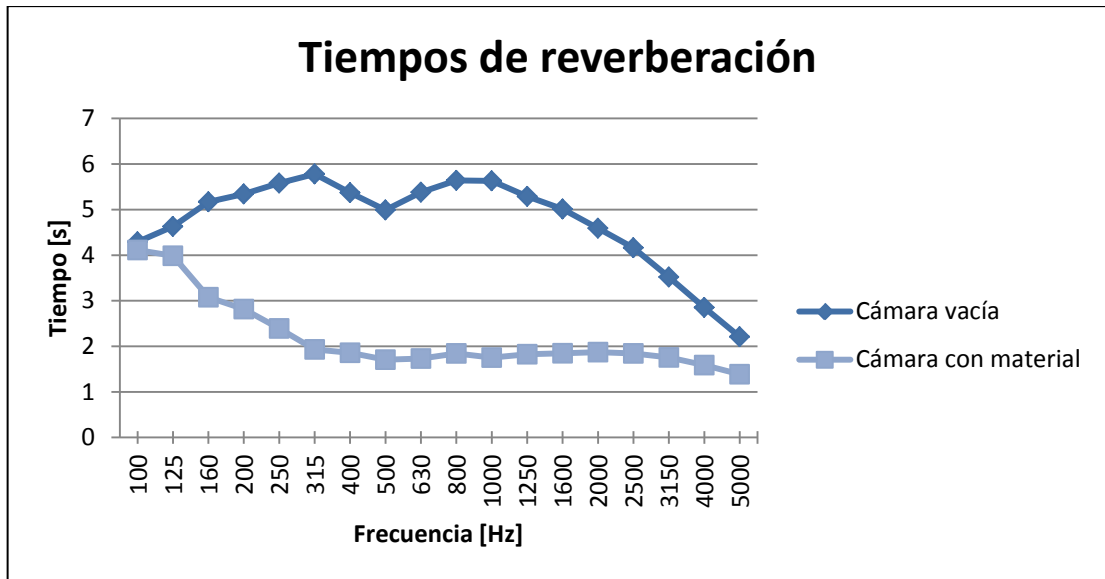


Figura 3.2.10: Comparación de los tiempos de reverberación obtenidos con la cámara vacía y con la muestra de material en el interior, cuando se ha empleado el método de ruido interrumpido.

La disminución del tiempo de reverberación al introducir la muestra es evidente a lo largo de todo el rango de frecuencias. El material bajo ensayo absorbe en todo el rango que se estudia. Todo esto se confirmará al calcular la absorción sonora de la muestra bajo ensayo. Para ello es necesario calcular el área de absorción equivalente de la cámara con la muestra de material en su interior,  $A_2$ , mediante la fórmula (3.2.12).

$$A_2 = \frac{55,3 V}{c T_2} - 4 V m_2 \quad (3.2.12)$$

donde

$V$  volumen en  $\text{m}^3$  de la cámara reverberante vacía,  $206 \text{ m}^3$ .

$T_2$  tiempo de reverberación en segundos de la cámara reverberante con muestra.

$c$  velocidad de propagación del sonido en el aire en  $\text{ms}^{-1}$ . Con temperaturas entre  $15^\circ\text{C}$  y  $30^\circ\text{C}$  se puede calcular a partir de la expresión:

$$c = 331 + \frac{0,6t}{^\circ\text{C}} \text{ [m/s]} \quad (3.2.13)$$

donde

$t$  temperatura del aire en grados centígrados,  $^\circ\text{C}$ .

Al introducir la temperatura del aire de la cámara reverberante con la muestra en la expresión (3.2.13) se obtiene que la velocidad del sonido en el aire tendrá el valor de 345,94 m/s.

$m_2$  es el coeficiente de atenuación sonora en metros recíprocos, calculado de acuerdo con la Norma Internacional ISO 9613-1 [10] empleando para ello las condiciones climáticas de la cámara reverberante. El valor de  $m$  se puede calcular a partir de la atenuación por la absorción atmosférica,  $\alpha$ , de acuerdo con la fórmula (3.2.14):

$$m_2 = \frac{\alpha}{10 \log e} \quad (3.2.14)$$

donde

$\alpha$  coeficiente de atenuación para la absorción atmosférica  $\alpha$ , en decibelios por metro,  $\text{dBm}^{-1}$ .

El coeficiente de atenuación para la absorción atmosférica  $\alpha$ , en decibelios por metro, se calcula a partir de la expresión (3.2.15):

$$\begin{aligned} \alpha = 8,686 f^2 & \left( \left[ 1,84 \cdot 10^{-11} \cdot \left( \frac{p_a}{p_r} \right)^{-1} \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-1/2} \right] + \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-5/2} \right. \\ & \cdot \left[ \left( 0,01275 \cdot e^{\frac{-2239,1}{T}} \cdot \left( f_{r0} + \frac{f^2}{f_{r0}} \right)^{-1} \right) \right. \\ & \left. \left. + \left( 0,1068 \cdot e^{\frac{-3352,0}{T}} \cdot \left( f_{rN} + \frac{f^2}{f_{rN}} \right)^{-1} \right) \right] \right) \end{aligned} \quad (3.2.15)$$

donde:

$f$  frecuencia en hercios, Hz;

$p_a$  presión atmosférica en kilo pascales, que midiéndola se obtuvo que eran 94,0 kPa;

$p_r$  presión atmosférica de referencia, 101,325 kPa;

$T$  temperatura atmosférica en kelvin (K), que midiéndola se obtuvo que eran 298,05 K;

$T_0$  temperatura de referencia del aire, 293,15 K;

$f_{r0}$  frecuencia del oxígeno en hercios.

$$f_{ro} = \frac{p_a}{p_r} \left( 24 + 4,04 \cdot 10^4 h \frac{0,02 + h}{0,391 + h} \right) \quad (3.2.16)$$

donde:

$h$  concentración molar de vapor de agua expresado como porcentaje, %, que se calcula mediante la expresión (3.2.17):

$$h = h_T \frac{\frac{p_{sat}}{p_r}}{\frac{p_a}{p_r}} \quad (3.2.17)$$

donde

$h_T$  es la humedad relativa, expresada como porcentaje, %.

$p_{sat}$  es la presión de saturación:

$$\frac{p_{sat}}{p_r} = 10^C \quad (3.2.18)$$

donde

$C$  es el exponente que viene dado por la expresión:

$$C = -6,8346 \left( \frac{T_{01}}{T} \right)^{1,261} + 4,6151 \quad (3.2.19)$$

siendo  $T_{01}$  el valor del triple punto de temperatura isotérmica, esto es 273,16 kPa.

$f_{rN}$  frecuencia del nitrógeno en hercios.

$$f_{rn} = \frac{p_a}{p_r} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-1/2} \cdot \left( 9 + 280h \exp \left\{ -4,170 \left[ \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-1/3} - 1 \right] \right\} \right) \quad (3.2.20)$$

Una vez calculado  $\alpha$ , podemos calcular el valor del coeficiente de atenuación sonora con cámara reverberante con la muestra de material absorbente,  $m_2$ , utilizando la expresión (3.2.14). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.13.

Tabla 3.2.13: Valores del coeficiente de atenuación sonora obtenidos con las condiciones de la cámara con la muestra de material absorbente,  $m_2$ .

<b>COEFICIENTE DE ATENUACIÓN SONORA DE LA CÁMARA CON MATERIAL, <math>m_2</math></b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b><math>m_2</math> [<math>m^{-1}</math>]</b>
<b>100</b>	7,58E-05
<b>125</b>	1,14E-04
<b>160</b>	1,74E-04
<b>200</b>	2,49E-04
<b>250</b>	3,43E-04
<b>315</b>	4,59E-04
<b>400</b>	5,93E-04
<b>500</b>	7,24E-04
<b>630</b>	8,67E-04
<b>800</b>	1,03E-03
<b>1000</b>	1,22E-03
<b>1250</b>	1,48E-03
<b>1600</b>	1,90E-03
<b>2000</b>	2,49E-03
<b>2500</b>	3,40E-03
<b>3150</b>	4,86E-03
<b>4000</b>	7,25E-03
<b>5000</b>	1,08E-02

Una vez obtenidos los valores del coeficiente de atenuación sonora es posible calcular el área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante con la muestra,  $A_2$ , mediante la expresión (3.2.12).

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.14 y en el Figura 3.2.11.

Tabla 3.2.14: Área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante con la muestra de material,  $A_2$ , cuando se ha empleado el método de ruido interrumpido en la medición del tiempo de reverberación.

ÁREA DE ABSORCIÓN SONORA EQUIVALENTE DE LA CÁMARA CON MUESTRA DE MATERIAL, $A_2$		
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación, $T_2$ [s]	Área de absorción sonora equivalente, $A_2$ [m <sup>2</sup> ]
100	4,11	7,95
125	3,99	8,16
160	3,08	10,55
200	2,82	11,47
250	2,39	13,50
315	1,93	16,68
400	1,86	17,22
500	1,71	18,66
630	1,73	18,32
800	1,84	17,05
1000	1,75	17,81
1250	1,83	16,78
1600	1,85	16,23
2000	1,87	15,56
2500	1,84	15,10
3150	1,75	14,82
4000	1,59	14,73
5000	1,39	14,82

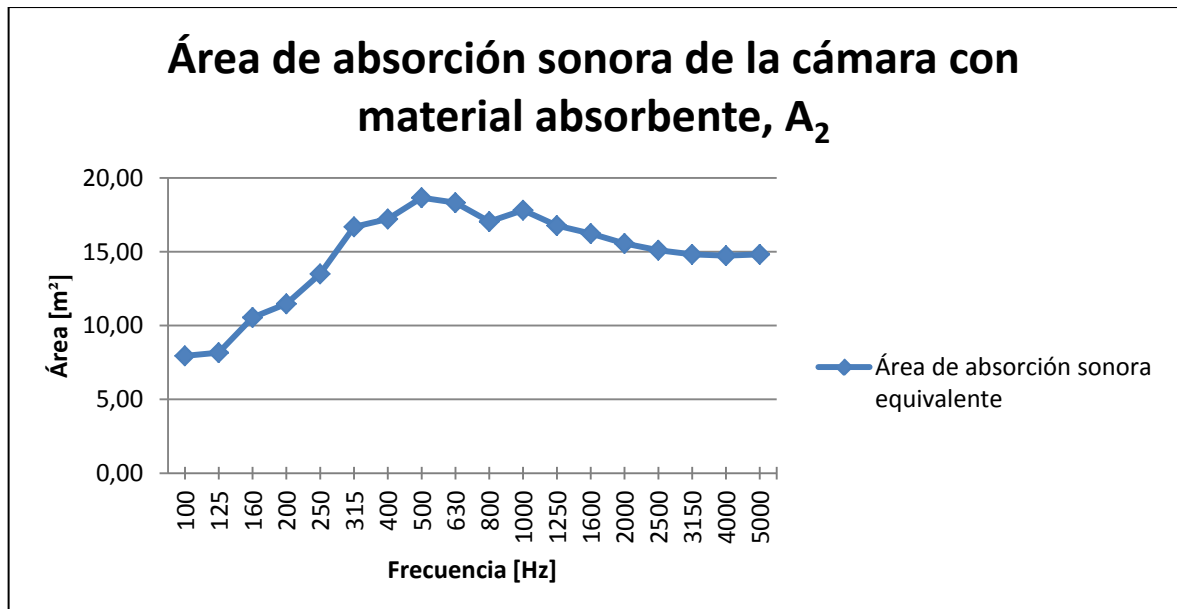


Figura 3.2.11: Área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante con la muestra de material,  $A_2$ , cuando se ha empleado el método de ruido interrumpido en la medición del tiempo de reverberación.

El área de absorción sonora equivalente de la muestra,  $A_T$ , en metros cuadrados, debe calcularse utilizando la fórmula (3.2.21):

$$A_T = A_2 - A_1 = 55,3V \left( \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1) \quad (3.2.21)$$

donde

$c_1$  es la velocidad de propagación del sonido en el aire a la temperatura  $t_1$ ;

$c_2$  es la velocidad de propagación del sonido en el aire a la temperatura  $t_2$ .

Sustituyendo los valores en la fórmula (3.2.21), se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla (3.2.15).

Tabla 3.2.15: Área de absorción sonora equivalente de la muestra de material absorbente,  $A_T$ .

ÁREA DE ABSORCIÓN SONORA EQUIVALENTE DE LA MUESTRA, $A_T$	
Frecuencia [Hz]	Área de absorción sonora $A_T$ [m <sup>2</sup> ]
100	0,32
125	1,13
160	4,31
200	5,50
250	7,86
315	11,35
400	11,55
500	12,63
630	12,88
800	12,02
1000	12,93
1250	11,73
1600	11,19
2000	10,40
2500	9,95
3150	9,43
4000	9,13
5000	8,77

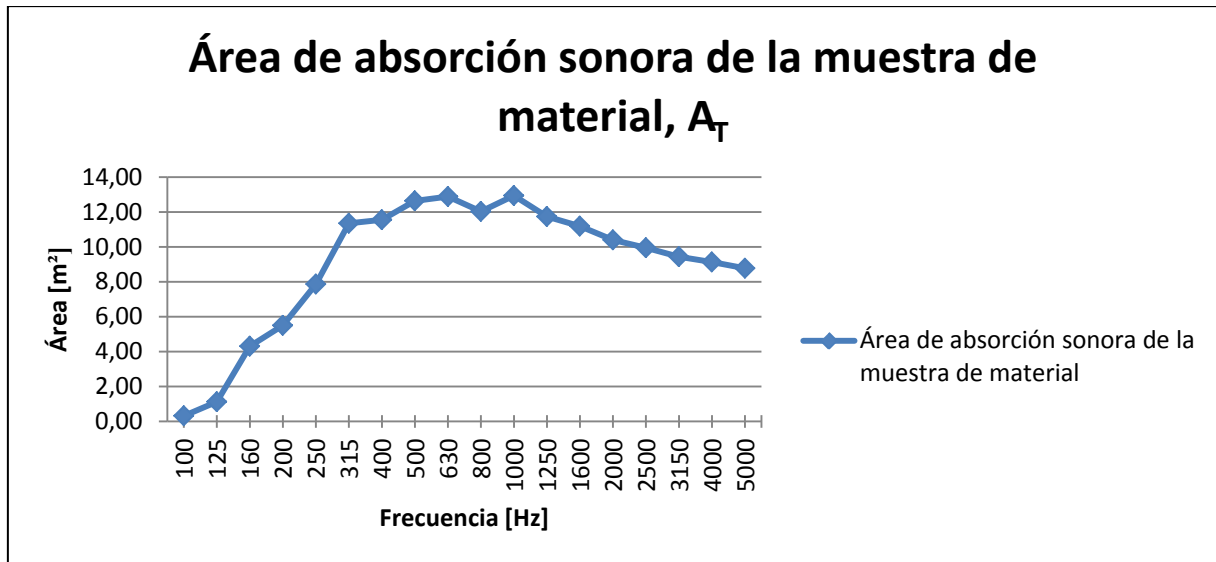


Figura 3.2.12: Área de absorción sonora equivalente de la muestra,  $A_T$ .

El coeficiente de absorción sonora  $\alpha_s$  de un absorbente plano debe calcularse mediante la fórmula (3.2.22).

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (3.2.22)$$

donde

$A_T$  es el área de absorción sonora equivalente de la muestra, en metros cuadrados, calculada de acuerdo con la fórmula (3.2.21);

$S$  es el área, en metros cuadrados, de la muestra de ensayo (véase el apartado 2.2.4 *Descripción de la muestra de ensayo*).

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.16 y en el gráfico de la Figura 3.2.13.

Tabla 3.2.16: Coeficiente de absorción sonora de la muestra de ensayo,  $\alpha_s$ .

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA DE LA MUESTRA, $\alpha_s$	
Frecuencia [Hz]	Coeficiente de absorción sonora $\alpha_s$
100	0,03
125	0,09
160	0,36
200	0,46
250	0,66
315	0,95
400	0,96
500	1,05
630	1,07
800	1,00
1000	1,08
1250	0,98
1600	0,93
2000	0,87
2500	0,83
3150	0,79
4000	0,76
5000	0,73

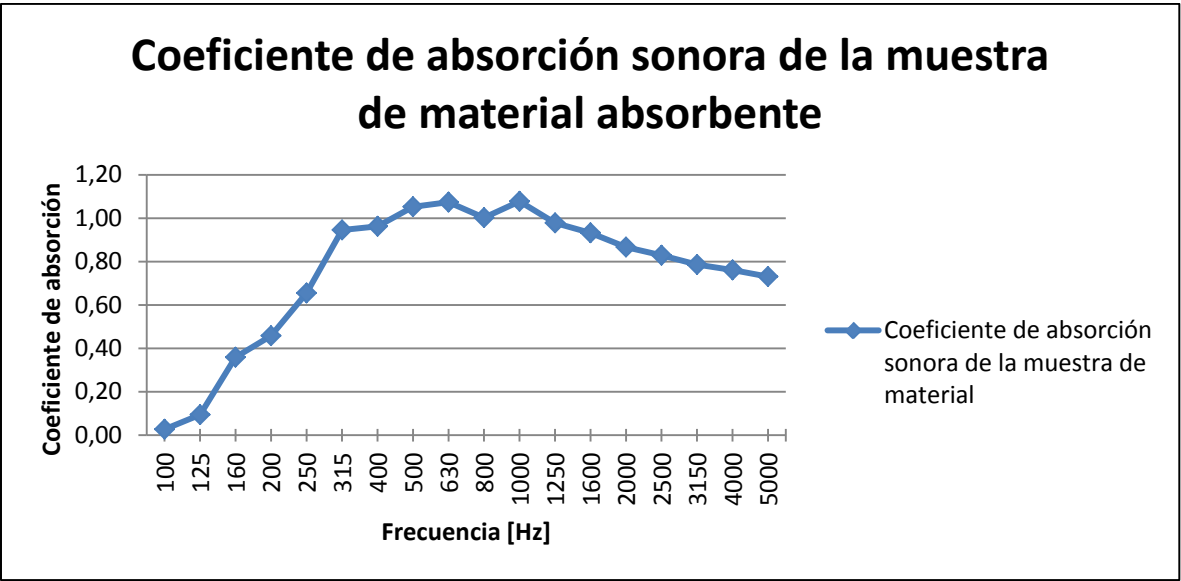


Figura 3.2.13: Coeficiente de absorción sonora de la muestra de ensayo,  $\alpha_s$ .



El siguiente y último paso será determinar el grado de precisión de los resultados logrados. Para ello se calculará la incertidumbre según la Norma UNE-EN ISO 354:2004 [11]. Según ésta, la incertidumbre global está influenciada por dos efectos. El primero de ellos es la incertidumbre de los tiempos de reverberación, siendo de especial importancia cuando el método a seguir es el empleado en este proyecto, el de ruido interrumpido. El segundo factor influyente es el debido a los límites de reproducibilidad que se produce por el total de los elementos que intervienen en la medición, incluyendo la cámara y el montaje. Por ahora este último factor no se puede estimar.

La incertidumbre debida a los tiempos de reverberación, se puede calcular mediante su desviación estándar,  $\varepsilon_{20}$ , calculada en un rango de caída de 20 dB. Se puede estimar por la expresión (3.2.23):

$$\frac{\varepsilon_{20}(T)}{T} = \sqrt{\frac{2,42 + \frac{3,59}{N}}{fT}} \quad (3.2.23)$$

$\varepsilon_{20}(T)$  desviación estándar del tiempo de reverberación  $T_{20}$ ;

$T$  tiempo de reverberación medido, segundos;

$f$  frecuencia central de la banda de tercio de octava, Hz;

$N$  número de curvas de caída de nivel evaluadas.

En este caso el número de caídas evaluadas será 36, es decir, 12 posiciones con tres caídas en cada posición.

La desviación estándar de la medición para cámara vacía se muestra en la Tabla 3.2.17 y en la Figura 3.2.14.

Tabla 3.2.17: Desviación estándar de la medición de tiempo de reverberación en cámara vacía, cuando se emplea el método de ruido interrumpido.

<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MEDICIÓN EN LA CÁMARA VACÍA</b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b><math>\varepsilon_{20}(T_1) / T_1</math></b>
100	0,08
125	0,07
160	0,06
200	0,05
250	0,04
315	0,04
400	0,03
500	0,03
630	0,03
800	0,02
1000	0,02
1250	0,02
1600	0,02
2000	0,02
2500	0,02
3150	0,02
4000	0,01
5000	0,02

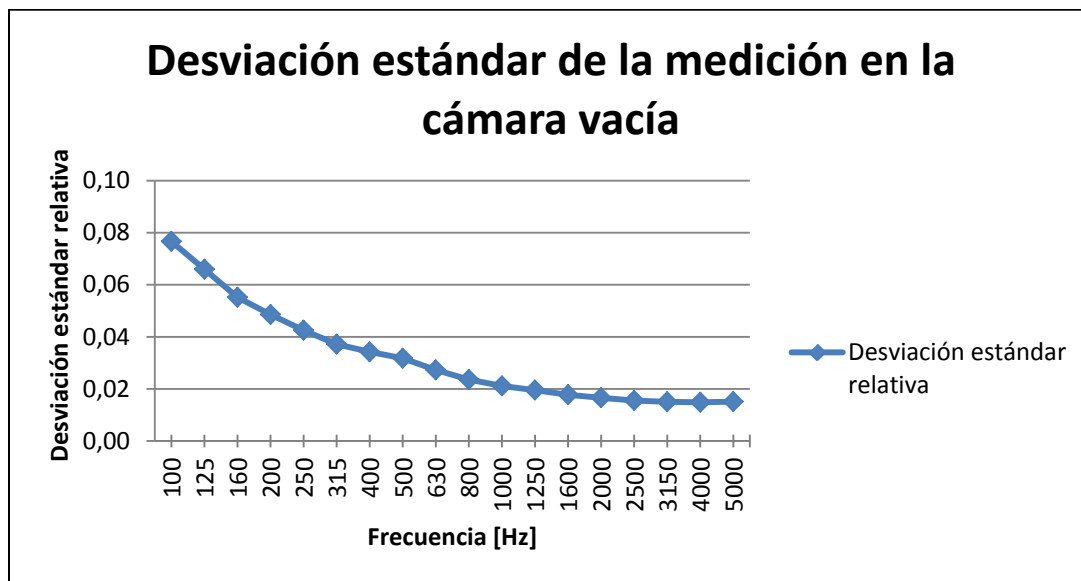


Figura 3.2.14: Desviación estándar de la medición de tiempo de reverberación en cámara vacía, cuando se emplea el método de ruido interrumpido.

La incertidumbre de la medición en la cámara reverberante con la muestra de ensayo se muestra en la Tabla 3.2.18 y en la Figura 3.2.15.

Tabla 3.2.18: Desviación estándar de la medición de tiempo de reverberación en cámara con muestra de material, cuando se emplea el método de ruido interrumpido.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MEDICIÓN EN CÁMARA CON MATERIAL	
Frecuencia [Hz]	$\varepsilon_{20}(T_2) / T_2$
100	0,08
125	0,07
160	0,07
200	0,07
250	0,06
315	0,06
400	0,06
500	0,05
630	0,05
800	0,04
1000	0,04
1250	0,03
1600	0,03
2000	0,03
2500	0,02
3150	0,02
4000	0,02
5000	0,02

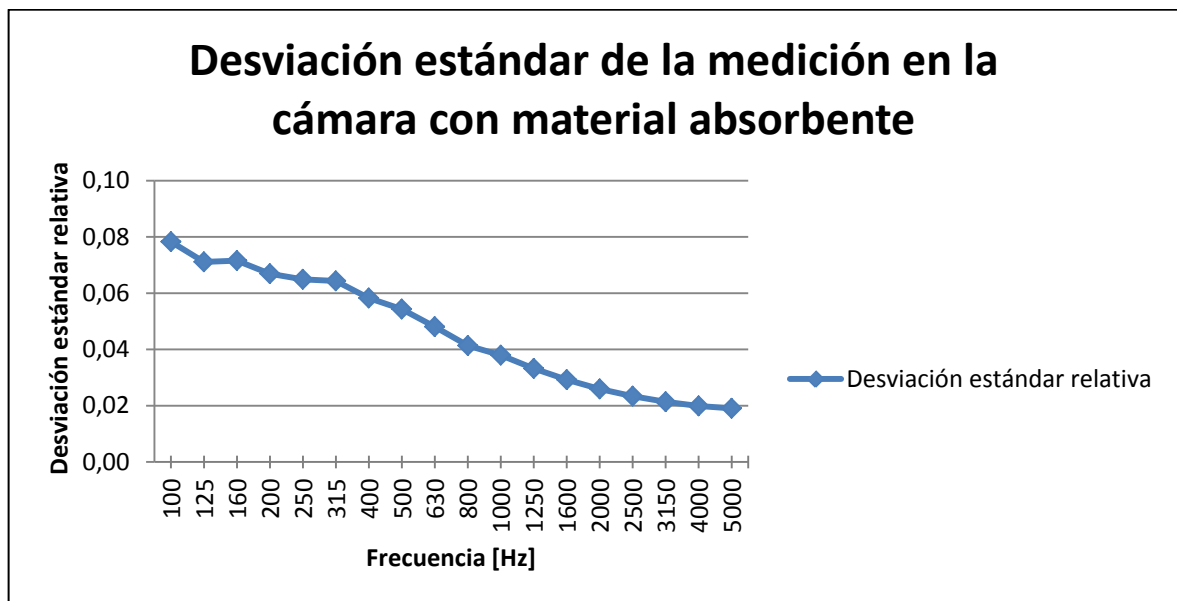


Figura 3.2.15: Desviación estándar de la medición de tiempo de reverberación en cámara con muestra de material, cuando se emplea el método de ruido interrumpido.

### 2.3.2 Respuesta impulsiva integrada

Antes de realizar las medidas del tiempo de reverberación se debe comprobar que se cumple el requisito impuesto por la Norma [11] referente a que la diferencia de nivel entre ruido emitido y ruido de fondo debe ser mayor que 35 dB.

Como se ha explicado anteriormente, no es necesario medir el espectro de emisión ni el ruido de fondo, pues el cumplimiento de esta condición se puede comprobar en las caídas de nivel registradas por el sistema de adquisición.

En la Figura 3.2.16 se muestra un ejemplo del cumplimiento de la condición en la cámara reverberante vacía, y en la Figura 3.2.17 un ejemplo del cumplimiento en la cámara reverberante con la muestra.

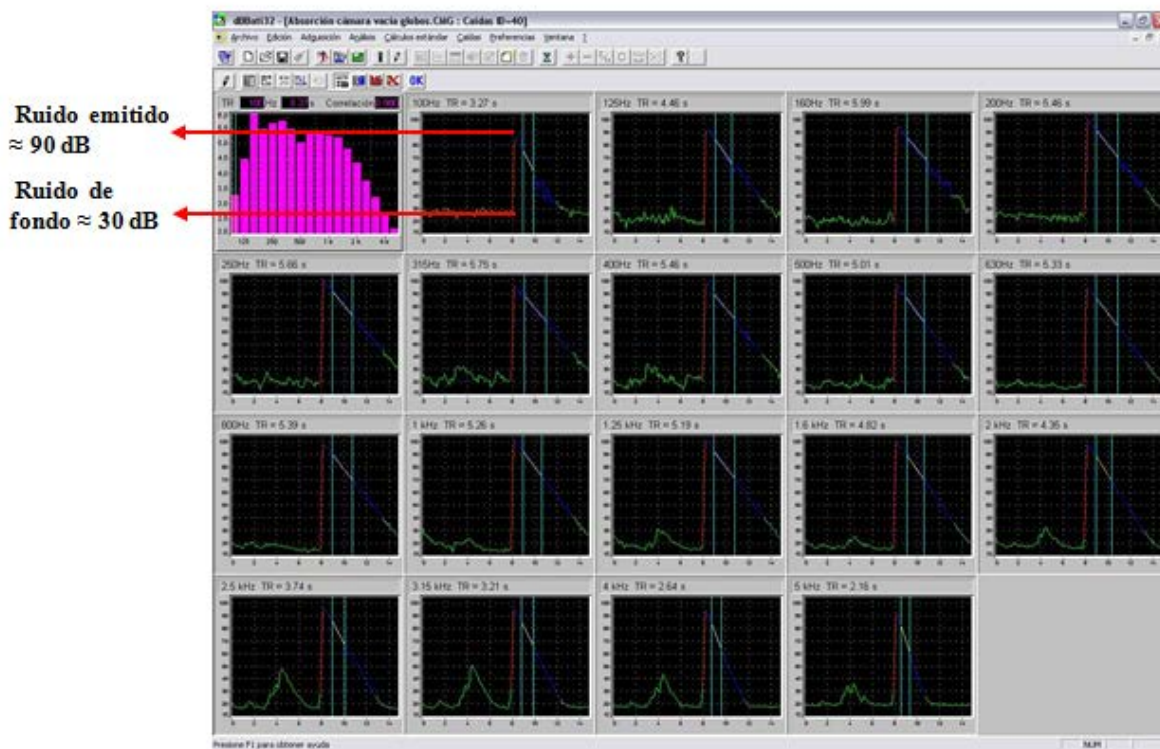


Figura 3.2.16: Caídas de nivel de señal en cámara vacía.

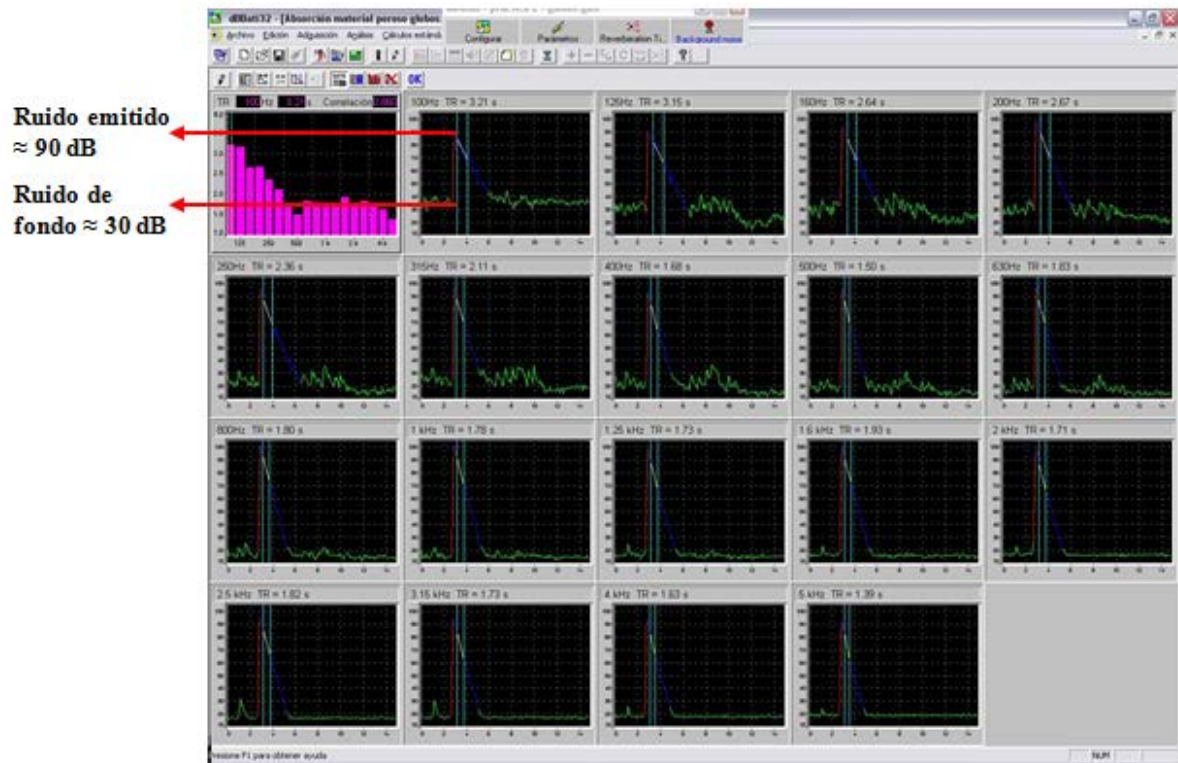


Figura 3.2.17: Caídas de nivel de señal en cámara con material.

- **Cámara reverberante vacía**

En primer lugar se muestra el tiempo de reverberación obtenido en la cámara reverberante vacía, en la Tabla 3.2.19. Seguidamente se harán los cálculos pertinentes para obtener el área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante cuando todavía no se ha introducido la muestra.

Los tiempos de reverberación se deben dar en bandas de frecuencia de un tercio de octava y expresarse con dos cifras decimales.

Tabla 3.2.19: Tiempos de reverberación obtenidos en las diferentes posiciones fuente – micrófono en la cámara vacía, empleando el método de señal impulsiva.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE CÁMARA VACÍA												
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1				Fuente posición A2				Fuente posición A3			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
100	4,63	3,63	5,21	3,51	3,94	4,15	5,82	3,27	4,85	4,51	5,51	4,28
125	5,19	4,32	3,71	5,09	4,66	6,22	4,55	4,46	4,58	5,35	4,90	4,27
160	4,59	5,89	4,99	5,44	6,00	5,04	5,13	5,99	5,19	3,42	5,07	4,87
200	5,64	5,81	6,46	5,23	5,51	5,45	5,11	5,46	5,86	4,59	5,76	5,89
250	5,20	5,41	5,68	4,96	5,68	5,20	5,86	5,66	5,93	4,73	5,99	5,01
315	5,41	5,43	5,59	4,83	5,90	5,17	5,84	5,75	5,23	4,98	6,02	5,56
400	5,33	5,34	5,77	4,68	5,44	5,39	4,87	5,46	5,22	5,02	5,36	5,48
500	4,70	5,12	5,02	4,66	4,93	4,89	5,16	5,01	4,82	4,97	5,17	4,75
630	4,94	5,50	4,95	4,65	5,32	5,36	5,04	5,33	4,99	5,16	5,24	4,97
800	5,47	5,21	4,69	5,27	5,42	5,32	5,36	5,39	5,20	5,12	5,10	5,45
1000	5,27	5,25	5,05	4,99	5,22	5,51	5,10	5,26	5,30	5,35	5,21	5,28
1250	5,23	5,07	5,43	5,26	4,95	5,02	4,98	5,19	5,21	4,89	5,22	5,10
1600	4,63	4,63	4,63	4,80	4,65	4,67	4,50	4,82	4,87	4,88	4,79	4,57
2000	4,25	4,26	4,37	4,49	4,21	4,25	4,16	4,35	4,22	4,25	4,25	4,19
2500	3,82	3,82	3,95	3,94	3,82	3,93	3,83	3,74	3,76	3,74	3,97	3,72
3150	3,30	3,28	3,19	3,15	3,33	3,30	3,25	3,21	3,31	3,32	3,37	3,29
4000	2,63	2,68	2,76	2,62	2,80	2,79	2,77	2,64	2,71	2,71	2,69	2,73
5000	2,15	2,19	2,11	2,11	2,24	2,21	2,22	2,16	2,16	2,18	2,19	2,15

Una vez hecho esto, se promedian aritméticamente los tiempos de reverberación obtenidos de cada posición fuente – micrófono. Este valor promedio se muestra en la Tabla 3.2.20.

Tabla 3.2.20: Tiempo de reverberación promedio medido en la cámara vacía,  $T_1$ .

TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN CÁMARA VACÍA $T_1$	
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación promedio [s]
100	4,44
125	4,78
160	5,14
200	5,56
250	5,44
315	5,48
400	5,28
500	4,93
630	5,12
800	5,25
1000	5,23
1250	5,13
1600	4,70
2000	4,27
2500	3,84
3150	3,28
4000	2,71
5000	2,17

Se puede observar de manera gráfica en la Figura 3.2.18.

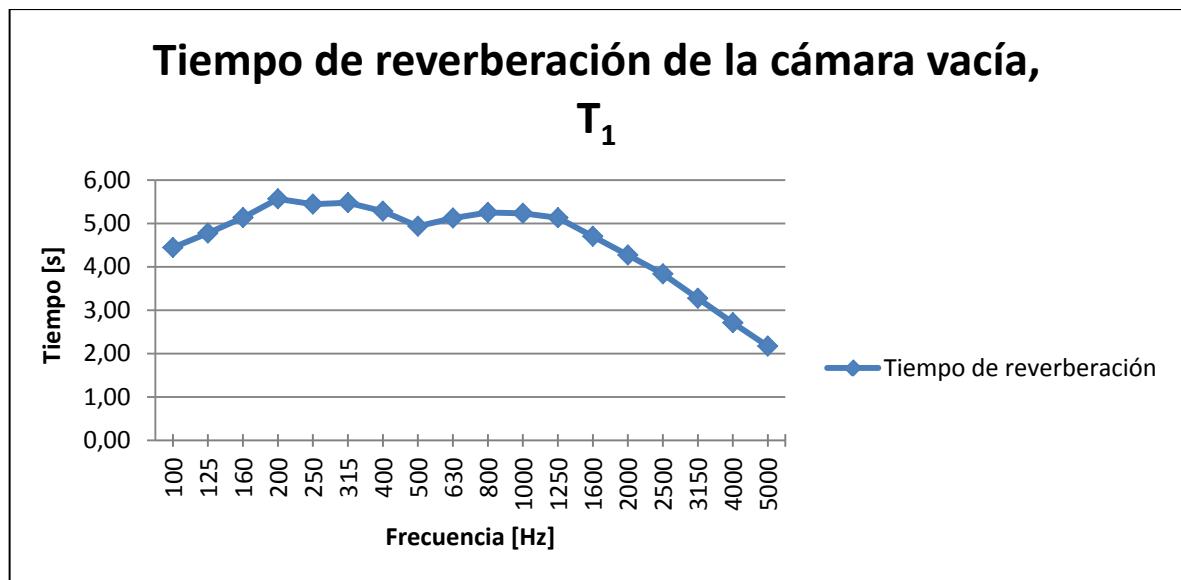


Figura 3.2.18: Tiempo de reverberación promedio medido en la cámara vacía.

A partir de los datos del tiempo de reverberación de la cámara vacía,  $T_1$ , se obtendrá el área de absorción equivalente  $A_1$ , mediante la expresión (3.2.3). Los valores del coeficiente de atenuación  $m_1$  están en la Tabla 3.2.9. Introduciendo los datos en la expresión (3.2.3), se obtienen los valores para el área de absorción equivalente de la cámara vacía,  $A_1$ , que se muestran en la Tabla 3.2.21 y en la Figura 3.2.19.

Tabla 3.2.21: Área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante vacía,  $A_1$ , cuando se ha empleado el método de señal impulsiva en la medida de tiempo de reverberación.

ÁREA DE ABSORCIÓN SONORA EQUIVALENTE DE CÁMARA VACÍA		
$A_1$		
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación, $T_1$ [s]	Área de absorción sonora equivalente, $A_1$ [m <sup>2</sup> ]
100	4,44	7,37
125	4,78	6,81
160	5,14	6,28
200	5,56	5,73
250	5,44	5,79
315	5,48	5,65
400	5,28	5,77
500	4,93	6,11
630	5,12	5,75
800	5,25	5,46
1000	5,23	5,33
1250	5,13	5,24
1600	4,70	5,48
2000	4,27	5,70
2500	3,84	5,81
3150	3,28	6,07
4000	2,71	6,20
5000	2,17	6,32

Igual que cuando se emplea el método de ruido interrumpido, se puede observar que la cámara reverberante vacía no cumple los límites impuestos por la Norma [11] referidos al área de absorción sonora en las frecuencias de 100 Hz y 125 Hz. Estos límites son los que se dan en la Tabla 3.2.1. Este incumplimiento podría ser debido a que la cámara reverberante en la que se han realizado las medidas tiene mucha superficie en el medio, tal y como se muestra en la Figura 3.1.3. Esta superficie es un elemento absorbente y por lo tanto está contemplada dentro del área de absorción sonora equivalente de la cámara vacía, y por ello se superan los límites impuestos por la Norma [11].



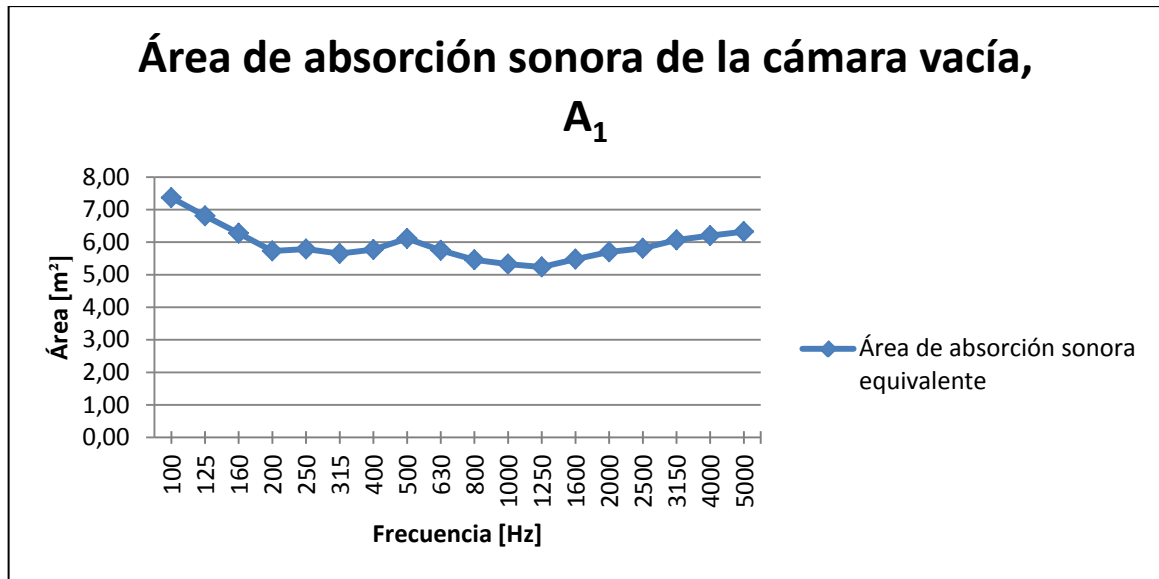


Figura 3.2.19: Área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante vacía,  $A_1$ , cuando se ha empleado el método de señal impulsiva en la medida del tiempo de reverberación.

- **Cámara reverberante con muestra**

Seguidamente se mostrarán los valores obtenidos de la cámara con la muestra en su interior, comenzando por el tiempo de reverberación. Se compararán los tiempos obtenidos con y sin material.

Los valores de tiempo de reverberación obtenidos en la cámara con muestra se pueden observar en la Tabla 3.2.22, y el valor promedio de estos tiempos en la Tabla 3.2.23.

Tabla 3.2.22: Tiempos de reverberación obtenidos en las diferentes posiciones fuente – micrófono en la cámara con muestra de material absorbente, empleando el método de señal impulsiva.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE LA CÁMARA CON MATERIAL												
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1				Fuente posición A2				Fuente posición A3			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
100	2,83	3,10	3,89	3,33	3,21	3,48	4,34	2,59	2,79	4,06	4,14	3,43
125	4,06	3,72	4,11	3,76	3,15	3,05	3,81	3,88	3,86	3,80	3,25	3,77
160	1,85	2,40	2,06	3,31	2,64	2,92	3,83	3,46	3,20	3,62	3,62	3,18
200	2,97	2,70	2,53	2,84	2,67	2,90	2,09	2,89	2,99	3,06	3,14	2,72
250	2,41	2,05	2,40	2,19	2,36	2,74	1,97	2,16	2,53	2,61	2,02	2,21
315	2,00	2,18	1,86	2,00	2,11	2,35	1,83	2,02	1,60	2,17	2,05	2,03
400	1,83	1,91	1,74	1,96	1,68	1,89	1,79	1,66	1,87	1,72	1,49	2,04
500	1,70	1,87	1,73	2,00	1,50	1,86	1,69	1,86	1,61	1,75	1,74	1,47
630	1,77	1,64	1,79	1,95	1,83	1,79	1,71	1,87	1,73	1,86	1,75	1,83
800	1,73	1,77	1,74	1,64	1,80	1,81	1,89	1,75	1,78	1,60	1,80	1,68
1000	1,91	1,87	1,68	1,90	1,78	1,79	1,82	1,77	1,80	1,85	1,72	1,71
1250	1,79	1,73	1,74	1,80	1,73	1,68	1,77	1,67	1,90	1,83	1,75	1,77
1600	1,95	1,62	1,83	1,76	1,93	1,93	1,72	1,78	1,96	1,64	1,81	1,79
2000	1,78	1,81	1,81	1,77	1,71	1,84	1,73	1,83	1,82	1,91	1,78	1,82
2500	1,86	1,73	1,86	1,78	1,82	1,83	1,73	1,80	1,73	1,86	1,88	1,72
3150	1,67	1,60	1,79	1,72	1,73	1,64	1,66	1,80	1,74	1,77	1,73	1,78
4000	1,63	1,50	1,66	1,65	1,63	1,64	1,51	1,55	1,59	1,56	1,52	1,55
5000	1,43	1,38	1,40	1,45	1,39	1,45	1,34	1,46	1,43	1,46	1,33	1,31

Tabla 3.2.23: Tiempo de reverberación promedio de la cámara reverberante con la muestra,  $T_2$ .

TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE LA CÁMARA CON MATERIAL, $T_2$	
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación promedio [s]
100	3,43
125	3,69
160	3,01
200	2,79
250	2,30
315	2,02
400	1,80
500	1,73
630	1,79
800	1,75
1000	1,80
1250	1,76
1600	1,81
2000	1,80
2500	1,80
3150	1,72
4000	1,58
5000	1,40

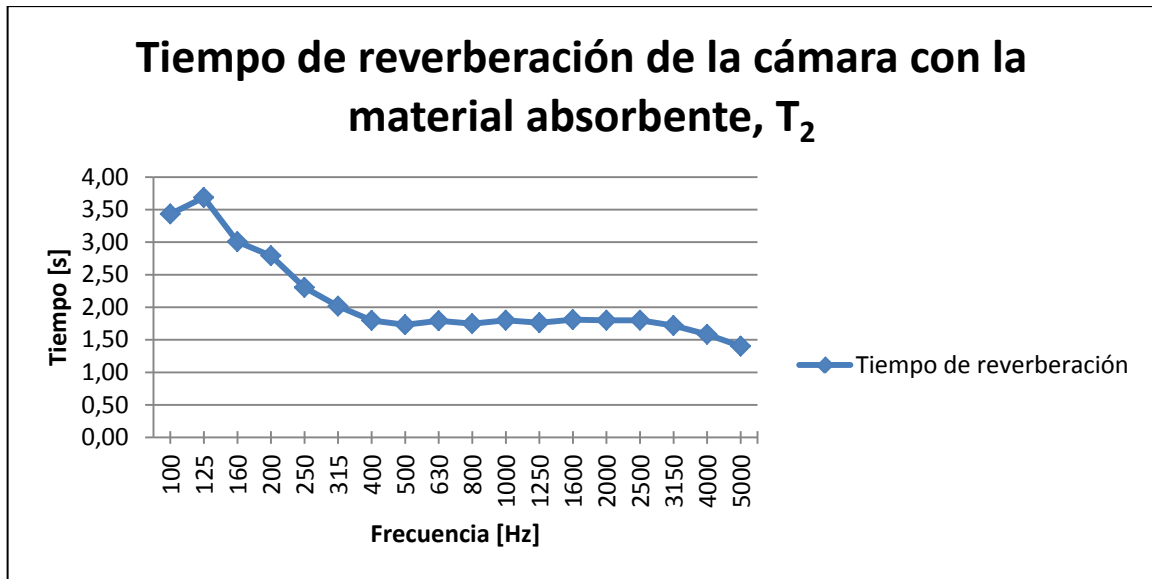


Figura 3.2.20: Tiempo de reverberación promedio en cámara reverberante con muestra de material,  $T_2$ .

En la Figura 3.2.21 se muestran los tiempos de reverberación de la cámara con y sin muestra en su interior en la misma gráfica con el propósito de poder compararlos fácilmente.

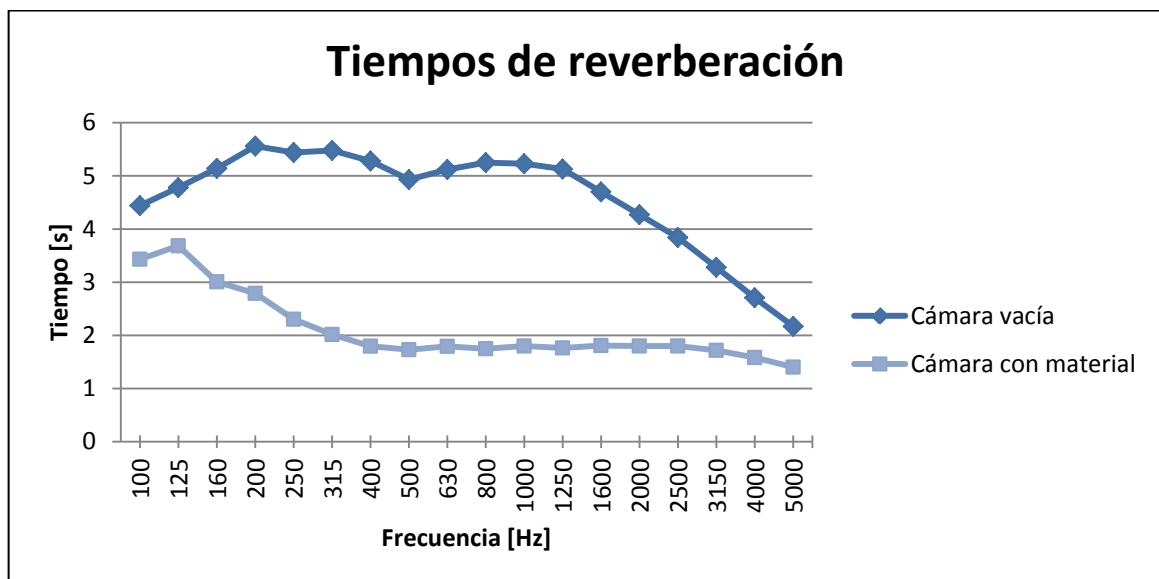


Figura 3.2.21: Comparación de los tiempos de reverberación obtenidos con la cámara vacía y con la muestra en el interior empleando el método de señal impulsiva.

Es evidente que al introducir la muestra tiene lugar una disminución del tiempo de reverberación a lo largo de todo el rango de frecuencias. Esto significa que la muestra de material bajo ensayo absorbe en todo el rango que se estudia. Todo esto se confirmará al calcular el área de absorción sonora de la muestra. Para ello es necesario calcular el área de absorción equivalente de la cámara con la muestra en su interior,  $A_2$ .

A partir de los datos del tiempo de reverberación en la cámara con material absorbente  $T_2$ , se obtendrá el área de absorción equivalente  $A_2$ , mediante la expresión (3.2.12). Los valores del coeficiente de atenuación  $m_2$  están en la Tabla 3.2.13. Introduciendo los datos en la expresión (3.2.12), se obtienen los valores para el área de absorción equivalente de la cámara vacía,  $A_2$ , que se muestran en la Tabla 3.2.24 y en la Figura 3.2.22.

Tabla 3.2.24: Área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante con la muestra,  $A_2$ , cuando se emplea el método de señal impulsiva para la medida del tiempo de reverberación.

ÁREA DE ABSORCIÓN SONORA EQUIVALENTE EN CÁMARA CON MUESTRA $A_2$		
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación, $T_2$ [s]	Área de absorción sonora equivalente, $A_2$ [m <sup>2</sup> ]
100	3,43	9,53
125	3,69	8,84
160	3,01	10,81
200	2,79	11,59
250	2,30	14,01
315	2,02	15,95
400	1,80	17,82
500	1,73	18,42
630	1,79	17,65
800	1,75	17,98
1000	1,80	17,29
1250	1,76	17,46
1600	1,81	16,63
2000	1,80	16,23
2500	1,80	15,50
3150	1,72	15,15
4000	1,58	14,83
5000	1,40	14,61

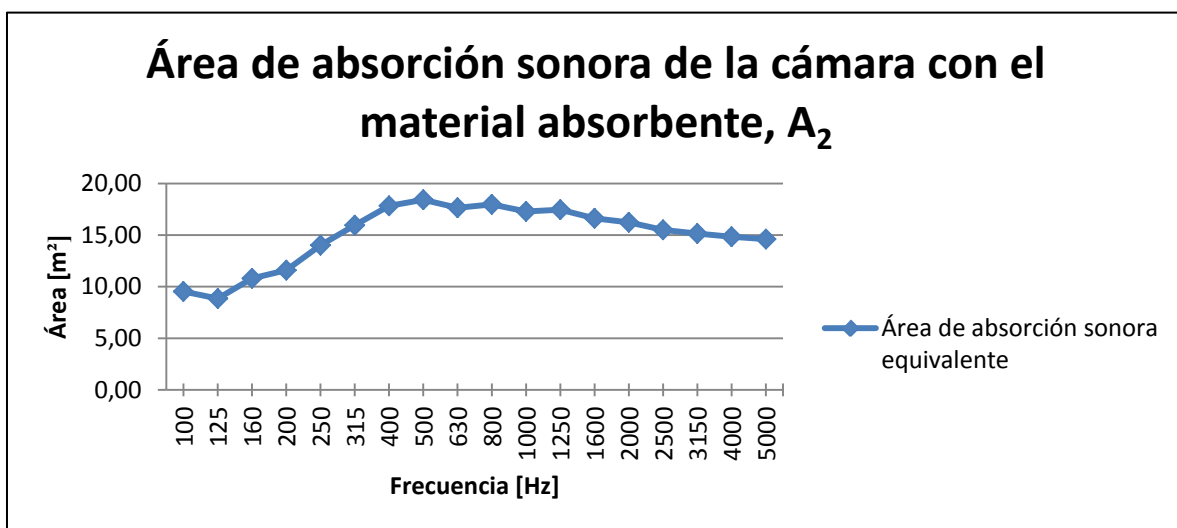


Figura 3.2.22: Área de absorción sonora equivalente de la cámara reverberante con la muestra,  $A_2$ , cuando se emplea el método de señal impulsiva en la medida del tiempo de reverberación.

El área de absorción sonora equivalente de la muestra,  $A_T$ , en metros cuadrados, debe calcularse utilizando la fórmula (3.2.21).

Sustituyendo los valores en la fórmula (3.2.21), se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla (3.2.25).

Tabla 3.2.25: Área de absorción sonora equivalente de la muestra,  $A_T$ .

ÁREA DE ABSORCIÓN SONORA EQUIVALENTE DE LA MUESTRA, $A_T$	
Frecuencia [Hz]	Área de absorción sonora $A_T$ [m <sup>2</sup> ]
100	2,16
125	2,04
160	4,53
200	5,86
250	8,22
315	10,30
400	12,05
500	12,31
630	11,90
800	12,52
1000	11,96
1250	12,22
1600	11,15
2000	10,54
2500	9,68
3150	9,08
4000	8,63
5000	8,29

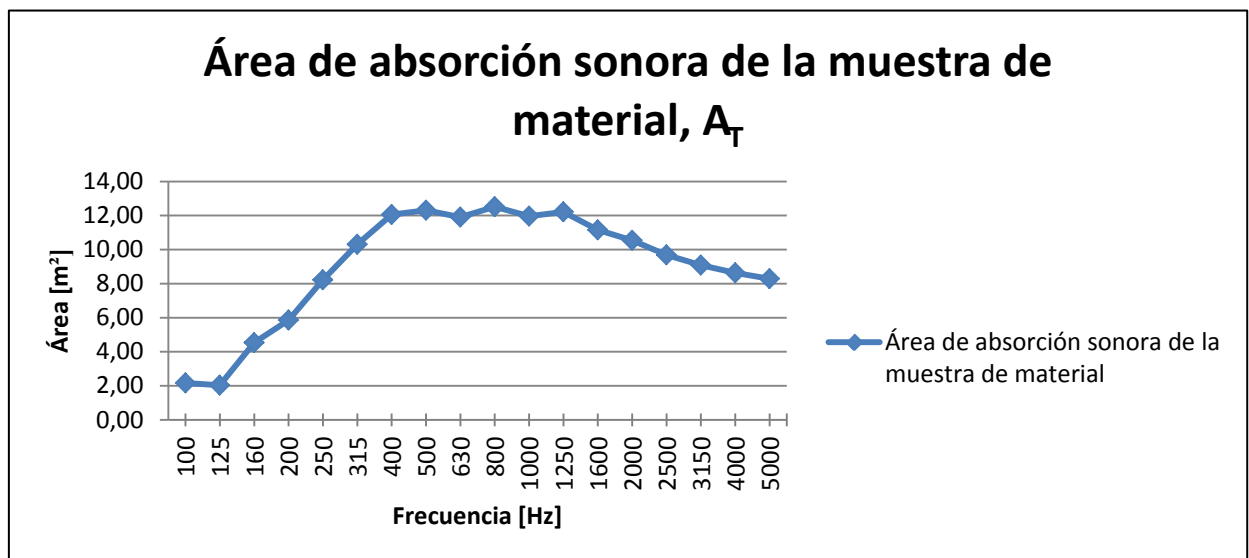


Figura 3.2.23: Área de absorción sonora equivalente de la muestra,  $A_T$ .

El coeficiente de absorción sonora  $\alpha_s$  de un absorbente plano debe calcularse mediante la fórmula (3.2.22).

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.26 y en el gráfico de la Figura 3.2.24.

Tabla 3.2.26: Coeficiente de absorción sonora de la muestra de ensayo,  $\alpha_s$ .

<b>COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA DE LA MUESTRA, <math>\alpha_s</math></b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Coeficiente de absorción sonora <math>\alpha_s</math></b>
100	0,18
125	0,17
160	0,38
200	0,49
250	0,69
315	0,86
400	1,00
500	1,03
630	0,99
800	1,04
1000	1,00
1250	1,02
1600	0,93
2000	0,88
2500	0,81
3150	0,76
4000	0,72
5000	0,69

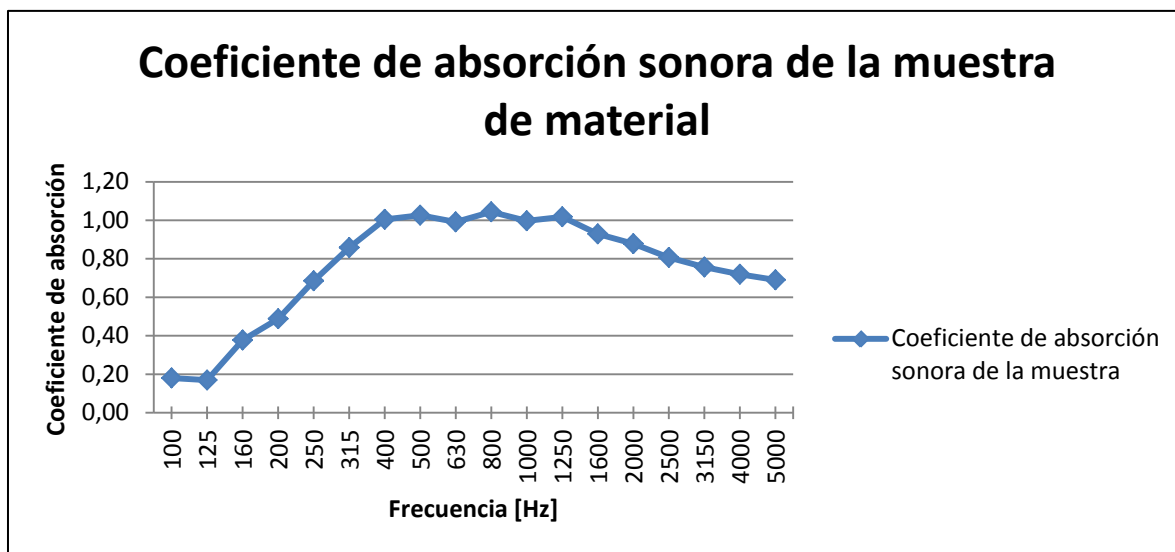


Figura 3.2.24: Coeficiente de absorción sonora de la muestra de ensayo,  $\alpha_s$ .

Ahora es necesario determinar la precisión de los resultados obtenidos. Para ello se calculará la incertidumbre de la medición según la Norma [11].

La incertidumbre debida a los tiempos de reverberación, se puede calcular mediante su desviación estándar,  $\varepsilon_{20}$ , calculada en un rango de caída de 20 dB. Se puede estimar por la expresión (3.2.23). En este caso el número de caídas evaluadas será 12, es decir, 12 posiciones con una caída en cada posición.

La desviación estándar de la medición para cámara vacía se muestra en la Tabla 3.2.27 y en la Figura 3.2.25.

Tabla 3.2.27: Desviación estándar de la medición de tiempo de reverberación en cámara vacía, cuando se emplea el método de señal impulsiva.

<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MEDICIÓN EN CÁMARA VACÍA</b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b><math>\varepsilon_{20}(T_1) / T_1</math></b>
100	0,08
125	0,07
160	0,06
200	0,05
250	0,05
315	0,04
400	0,04
500	0,03
630	0,03
800	0,03
1000	0,02
1250	0,02
1600	0,02
2000	0,02
2500	0,02
3150	0,02
4000	0,02
5000	0,02

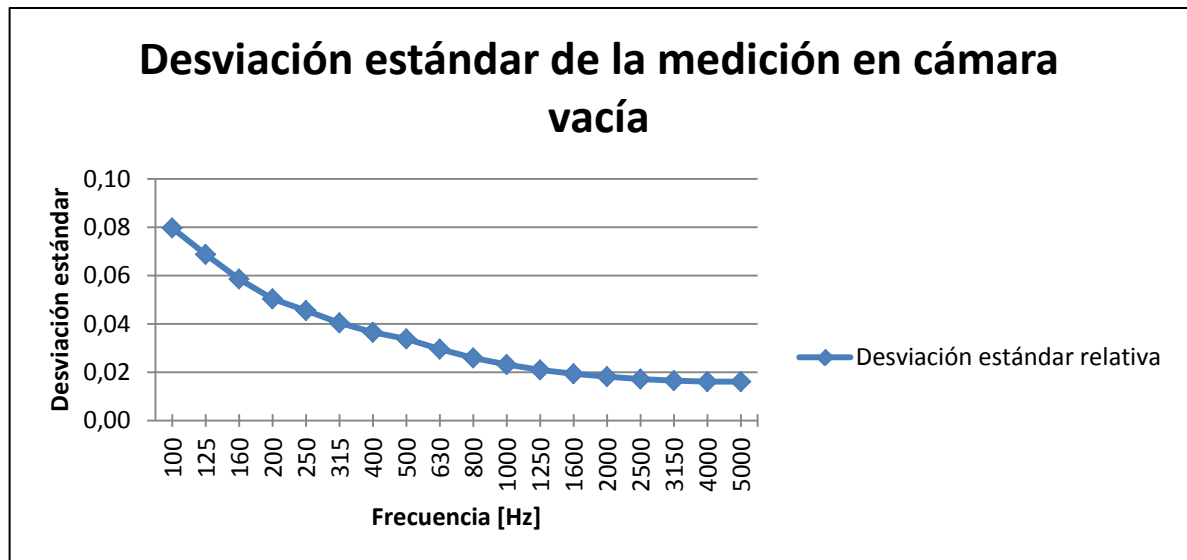


Figura 3.2.25: Desviación estándar de la medición de tiempo de reverberación en cámara vacía, cuando se emplea el método de señal impulsiva.

La desviación estándar de la medición en la cámara reverberante con la muestra de ensayo se muestra en la Tabla 3.2.28 y en la Figura 3.2.26.

Tabla 3.2.28: Desviación estándar de la medición de tiempo de reverberación en cámara con muestra de material absorbente, cuando se emplea el método de señal impulsiva.

<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MEDICIÓN EN CÁMARA CON MUESTRA</b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b><math>\varepsilon_{20}(T_2) / T_2</math></b>
100	0,09
125	0,08
160	0,08
200	0,07
250	0,07
315	0,07
400	0,06
500	0,06
630	0,05
800	0,04
1000	0,04
1250	0,04
1600	0,03
2000	0,03
2500	0,03
3150	0,02
4000	0,02
5000	0,02

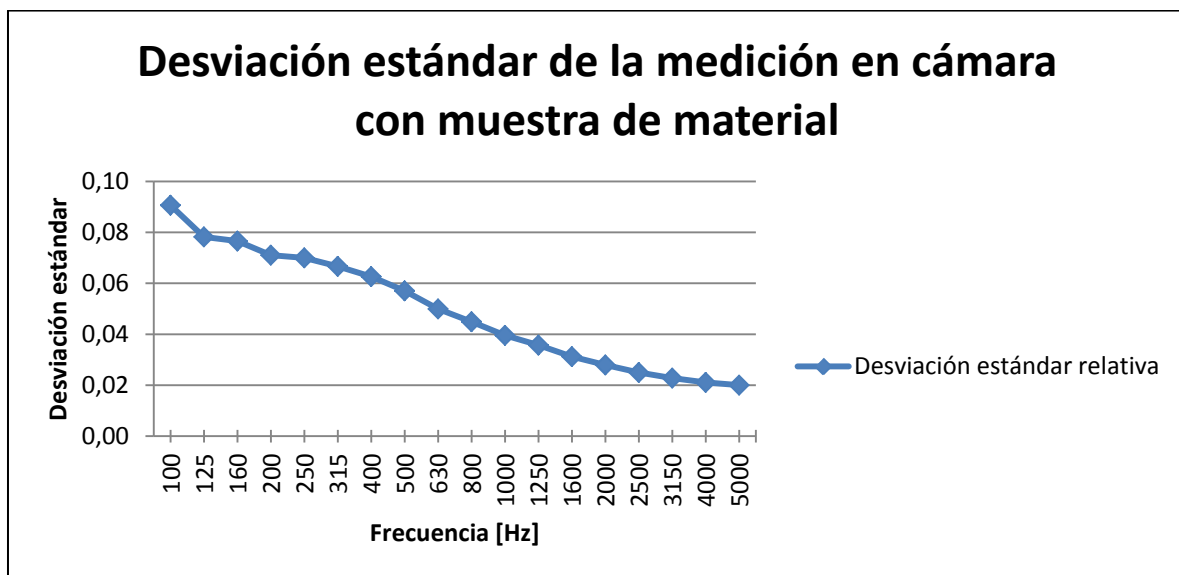


Figura 3.2.26: Desviación estándar de la medición de tiempo de reverberación en cámara con muestra de material absorbente, cuando se emplea el método de señal impulsiva.



## 2.4 Conclusiones

Se ha medido el tiempo de reverberación en cámara reverberante utilizando dos métodos, el de señal de ruido interrumpido y el de señal impulsiva, con la cámara vacía y con la cámara con una muestra de material poroso.

Una vez realizados los cálculos para obtener la absorción de dicho material se pueden determinar una serie de conclusiones que se exponen a continuación.

Al introducir la muestra de material absorbente se reduce el tiempo de reverberación en todo el margen de frecuencias y el aumento del área de absorción sonora equivalente de la cámara es más notable en medias y altas frecuencias.

Se puede determinar que el material introducido es buen absorbente en medias y altas frecuencias, y que el método de respuesta impulsiva arroja valores de absorción más altos en baja frecuencia.

El valor obtenido de la desviación estándar relativa se podría mejorar considerablemente registrando más caídas en cada posición micrófono – fuente o aumentando el número de posiciones de medida.



### 3 Medición “*in situ*” del aislamiento al ruido aéreo entre locales

#### 3.1 Objetivo

El objetivo de esta medición es obtener las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de las paredes interiores, de los techos y de las puertas entre dos recintos en condiciones de campo sonoro difuso, siguiendo el procedimiento que dicta la Norma UNE-EN ISO 140-4:1999 [12].

Este procedimiento proporciona los valores del aislamiento acústico al ruido aéreo en función de la frecuencia. Estos valores se transformarán en un valor único, que caracteriza las cualidades acústicas, aplicando la Norma ISO 717-1 [13].

#### 3.2 Procedimiento de medida

##### 3.2.1 Equipos utilizados

- Ordenador
- Sistema NetdB 01dB –Metravib
- Programa de procesado dBBATI32
- Generador dBGene de dBFA.
- Cámara reverberante
- Cuatro micrófonos de 1/4 “ AVM, modelo MI17
- Fuente dodecaédrica AVM, modelo DO12
- Fuente Yamaha, modelo MSP5
- Amplificador de potencia INTER-M, modelo M700
- Calibrador sonoro 01dB, modelo Cal01

A parte de los elementos citados se utilizarán cuatro pies para la sujeción de los micrófonos y un pie especial para sustentar el altavoz dodecaédrico.

### 3.2.2 Conexión entre equipos

La medida se realizará con el sistema NetdB que se encuentra conectado a un ordenador de sobremesa mediante un cable Ethernet.

En esta práctica se ha medido el aislamiento acústico a ruido aéreo entre la cámara reverberante situada en la Escuela Técnica de Ingeniería de Telecomunicación y el laboratorio desde el que se accede a dicha cámara. Se establece la cámara reverberante como sala emisora y el laboratorio como sala receptora.

Para determinar el aislamiento entre dichos recintos es necesario medir:

- El nivel de ruido que se emite en la sala emisora y el ruido que se recibe en la sala receptora;
- El ruido de fondo en la sala receptora;
- El tiempo de reverberación en la sala receptora.

Es por esto que se implementan dos diagramas de bloques distintos: uno para medir emisión, recepción y ruido de fondo y otro para medir el tiempo de reverberación. Dichos diagramas se muestran en la Figura 3.3.1 y en la Figura 3.3.2, respectivamente.

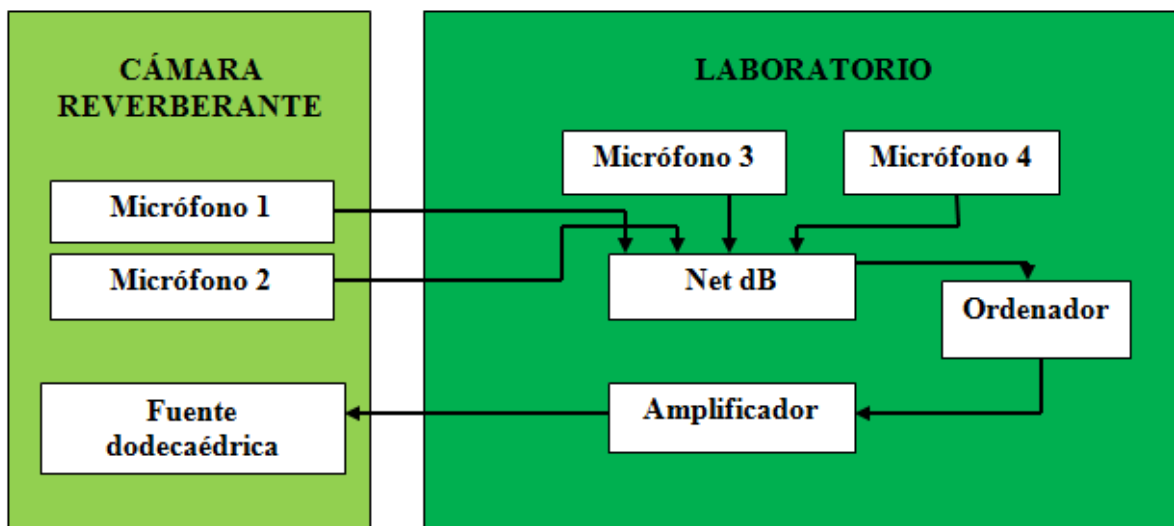


Figura 3.3.1: Conexión entre equipos para la medición de ruido emitido, ruido recibido y ruido de fondo.

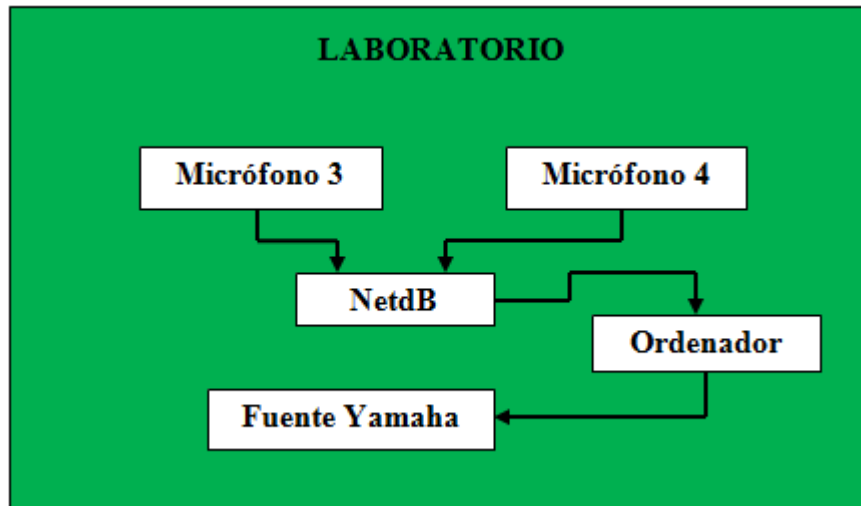


Figura 3.3.2: Conexionado entre equipos para la medición de tiempo de reverberación.

### 3.2.3 Ensayo según norma

#### 3.2.3.1 Medición del aislamiento a ruido aéreo

La medición “*in situ*” del aislamiento al ruido aéreo entre locales se realiza según la Norma UNE-EN ISO 140-4:1999 [12]. Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 140-4 de 1998, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 140-4:1998.

Antes de comenzar a describir las condiciones impuestas por la Norma [12], es necesario definir una serie de parámetros para poder interpretar estas condiciones de una manera adecuada.

## DEFINICIONES

### Nivel medio de presión sonora, $L$

Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el promedio espacio – temporal de los cuadrados de las presiones sonoras y el cuadrado de la presión de referencia. Se expresa en decibelios.

En la práctica normalmente se miden los niveles de presión sonora  $L_j$ . En este caso  $L$  viene dado por la ecuación (3.3.1).

$$L = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) [dB] \quad (3.3.1)$$

donde  $L_j$  son los niveles de presión sonora  $L_1$  a  $L_n$  en las  $n$  posiciones del recinto.

### **Diferencia de niveles, $D$**

Es la diferencia, en decibelios, del promedio espacio – temporal de los niveles de presión sonora producidos en los dos recintos por una o varias fuentes de ruido situadas en uno de ellos:

$$D = L_1 - L_2 [dB] \quad (3.3.2)$$

donde

$L_1$  es el nivel de presión acústica medio en el recinto emisor;

$L_2$  es el nivel de presión acústica medio en el recinto receptor.

### **Diferencia de niveles normalizada, $D_n$**

Es la diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un área de absorción de referencia en el recinto receptor.

$$D_n = D - 10 \cdot \lg \frac{A}{A_0} [dB] \quad (3.3.3)$$

donde

$D$  es la diferencia de niveles, en decibelios;

$A$  es el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor, en metros cuadrados;

$A_0$  es el área de absorción de referencia, en metros cuadrados (para recintos en viviendas o recintos de tamaño comparable:  $A_0 = 10 \text{ m}^2$ ).

**Diferencia de niveles estandarizada,  $D_{nT}$** 

Es la diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor:

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0} [dB] \quad (3.3.4)$$

donde

$D$  es la diferencia de niveles;

$T$  es el tiempo de reverberación en el recinto receptor;

$T_0$  es el tiempo de reverberación de referencia (para viviendas  $T_0 = 0,5$  s).

**Índice de reducción sonora aparente,  $R'$** 

Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la potencia acústica incidente sobre la pared de ensayo y la potencia acústica total transmitida al recinto receptor.

El índice de reducción sonora aparente en esta parte de la Norma ISO 140 se evalúa como:

$$R' = D + 10 \cdot \lg \frac{S}{A} [dB] \quad (3.3.5)$$

donde

$D$  es la diferencia de niveles;

$S$  es el área del elemento separador;

$A$  es el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor.

**PROCESO Y EVALUACIÓN DEL ENSAYO**

La normativa impone las condiciones a cumplir si se desean homologar las medidas en el laboratorio. Estas condiciones afectan a los instrumentos de medida y su colocación, la forma de adquirir los datos y su presentación.

Estas condiciones se detallan a continuación.

Las mediciones *in situ* de aislamiento acústico al ruido aéreo deben realizarse en bandas de tercio de octava, a menos que antes se haya convenido realizar las medidas en bandas de octava.

**Generación del campo sonoro en el interior del recinto emisor**

El sonido generado en el recinto emisor debe ser estacionario y debe tener un espectro continuo en el rango de frecuencia considerado. Si se utilizan filtros, estos deben tener un ancho de banda de tercio de octava como mínimo. Si se utiliza un ruido de banda ancha, el espectro debe conformarse para asegurar una relación señal – ruido adecuada en altas frecuencias en el recinto receptor: se recomienda ruido blanco. En cualquier caso, el espectro sonoro en el recinto emisor no debe tener diferencias de nivel mayores de 6 dB entre bandas de tercio de octava adyacentes.

La potencia sonora debería ser lo suficientemente alta como para que el nivel de presión sonora en el recinto receptor sea, al menos, 10 dB más alto que el nivel de ruido de fondo en cualquier banda de frecuencia. Si esto no se cumple se deben aplicar una serie de correcciones que se explican más adelante.

Si los recintos tienen diferentes volúmenes, el de mayor tamaño debería elegirse como recinto emisor, cuando se evalúe la diferencia de nivel estandarizada, siempre que no se acuerde lo contrario.

Debe situarse la fuente sonora de tal forma que se cree un campo sonoro tan difuso como sea posible y a una distancia tal del elemento constructivo separador y de los elementos laterales que puedan influenciar la transmisión, de manera que la radiación directa sobre ellos no sea dominante.

**Medición del nivel medio de presión sonora**

Se obtiene el nivel medio de presión sonora,  $L$ , mediante un único micrófono situado sucesivamente en cada posición, o mediante un conjunto de micrófonos fijos. Los niveles de presión sonora en las diferentes posiciones de micrófono deben promediarse de forma energética para todas las posiciones de micrófono, según la ecuación (3.3.1).

**• Posiciones de micrófonos**

Las siguientes distancias separadoras son valores mínimos:

- 0,7 m entre posiciones de micrófono;
- 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto o difusores;
- 1,0 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora;

Siempre que sea posible deberían superarse estas distancias.



Se debe utilizar un número mínimo de cinco posiciones fijas que se deberían distribuir uniformemente a lo largo de todo el espacio útil en cada recinto.

- **Medición**

El número mínimo de medidas empleando posiciones fijas de micrófono es 10.

- **Tiempo de promediado**

Para cada posición individual de micrófono, el tiempo de promediado debe ser, al menos, 6 s en cada banda de frecuencia con frecuencias centrales menores que 400 Hz.

### **Rango de frecuencias de las mediciones**

El nivel de presión sonora debe medirse utilizando filtros de tercio de octava teniendo al menos las siguientes frecuencias centrales, en hercios:

100	125	160	200	250	315	400	500	630
800	1000	1250	1600	2000	2500	3150		

Se recomienda ampliar el rango de frecuencias de las medidas por bandas de tercio de octava, con las frecuencias centrales, en hercios:

4000	5000
------	------

### **Medición del tiempo de reverberación y evaluación del área de absorción acústica equivalente**

El término de corrección de la ecuación (3.3.5), que contiene el área de absorción acústica equivalente, se evalúa a partir del tiempo de reverberación medido de acuerdo a la Norma UNE-EN ISO 354 [11], y se determina utilizando la fórmula de Sabine, véase ecuación (3.3.6).

$$A = \frac{0,16 \cdot V}{T} \quad (3.3.6)$$

donde

$A$  es el área de absorción equivalente del recinto receptor;

$V$  es el volumen del recinto receptor, en metros cúbicos;

$T$  es el tiempo de reverberación del recinto receptor, en segundos;

El número mínimo de mediciones requerido para cada banda de frecuencias es de seis caídas. Se deberá utilizar, al menos, una posición de altavoz y tres posiciones de micrófono con dos lecturas en cada caso.

### Corrección por ruido de fondo

Se miden los niveles de ruido de fondo para asegurar que las mediciones en el recinto receptor no estén afectadas por sonidos ajenos tales como ruidos del exterior del recinto de medida.

El nivel de ruido de fondo debe ser al menos 6 dB (y preferiblemente más de 10 dB) menor que el nivel combinado de señal y ruido. Si la diferencia de niveles es menor que 10 dB pero mayor que 6 dB, se calculan las correcciones de acuerdo con la ecuación:

$$L = 10 \cdot \lg(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) [dB] \quad (3.3.7)$$

donde

$L$  es el nivel de señal corregido, en decibelios;

$L_{sb}$  es el nivel combinado de señal y ruido de fondo, en decibelios;

$L_b$  es el nivel de ruido de fondo, en decibelios.

Si la diferencia de niveles es menor o igual a 6 dB en cualquiera de las bandas de frecuencia, se utiliza la corrección 1,3 dB correspondiente a una diferencia de 6 dB. En este caso se indicará claramente en el informe que los  $D_n$ ,  $D_{nT}$  o  $R'$  dados son un límite de la medición.

#### 3.2.3.2 Evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo

La evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo en los edificios y de los elementos de construcción se realiza según la Norma UNE-EN ISO 717-1:1997 [13]. Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 717-1, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 717-1:1996.

Mediante esta Norma se regula un método por el cual la dependencia frecuencial de aislamiento a ruido aéreo pueda convertirse en un solo número que caracterice las propiedades acústicas (el comportamiento acústico).

Esta parte de la Norma Internacional ISO 717 define magnitudes globales para el aislamiento a ruido aéreo de edificios y de elementos de construcción, toma en consideración los diferentes espectros sonoros de la fuente de ruido tales como ruido interior a los edificios y ruido de tráfico exterior al edificio y proporciona reglas para la determinación de estas magnitudes a partir de los resultados de medición.

## DEFINICIONES

Para los fines de esta Norma se aplican las siguientes definiciones:

### Magnitud global para la valoración del aislamiento a ruido aéreo:

Es el valor, en decibelios, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según el método especificado en esta parte de la Norma [13].

A partir de las medidas de aislamiento al ruido aéreo '*in situ*', definidas en la primera parte de la práctica, las magnitudes globales toman los nombres siguientes:

Tabla 3.3.1: Nombramientos de las magnitudes globales.

MEDIDA REALIZADA	MAGNITUD GLOBAL
Índice de reducción sonora aparente $R'$	Índice ponderado de reducción sonora aparente $R'_{w}$
Diferencia de nivel normalizada $D_n$	Diferencia de nivel normalizada ponderada $D_{n,w}$
Diferencia de nivel estandarizada $D_{nT}$	Diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$

### Término de adaptación al espectro

Es el valor, en decibelios, que ha de añadirse al valor de la magnitud global para tener en cuenta las características de un espectro de ruido en particular.

## PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE MAGNITUDES GLOBALES

Los valores obtenidos conforme a la Norma UNE-EN ISO 140-4:1999 [12] se comparan con valores de referencia a las frecuencias de medición en el rango de 100 Hz a 3 150 Hz para bandas de tercio de octava.

Deben calcularse dos términos de adaptación del espectro basados en dos espectros típicos en los rangos de frecuencia especificados anteriormente. Estos dos términos pueden complementarse opcionalmente con los términos de adaptación del espectro adicionales cubriendo los rangos de frecuencia ampliados entre 100 Hz y 5000 Hz, si se dispone de datos para ello.

### Valores de referencia

La Tabla 3.3.2 da la serie de valores de referencia usados para comparar con los resultados de la medición. La curva de referencia correspondiente se muestra en la Figura 3.3.3.

Tabla 3.3.2: Valores de referencia.

Frecuencia [Hz]	Valores de referencia [dB]
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

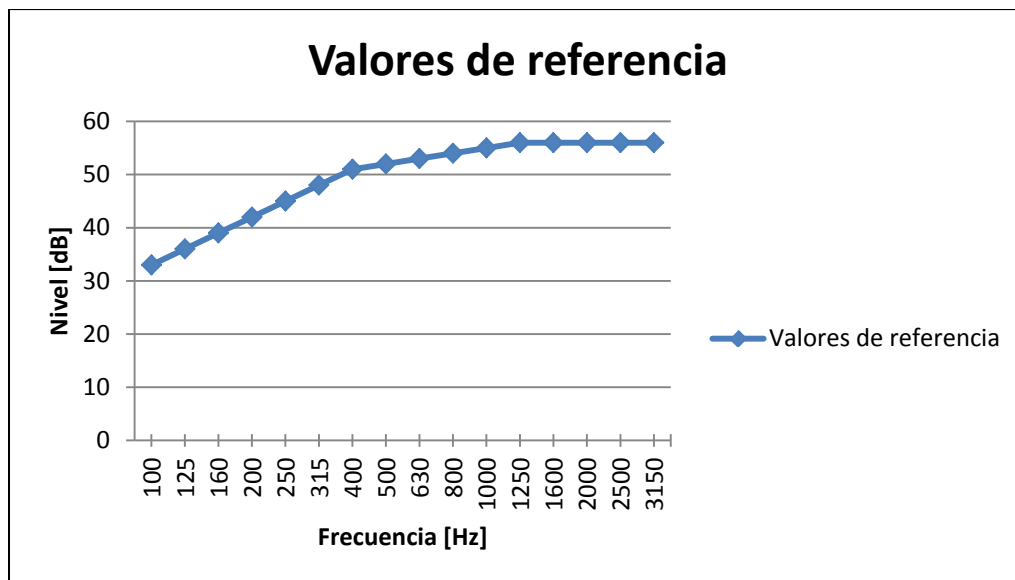


Figura 3.3.3: Valores de referencia

### Espectros sonoros

Los términos de adaptación al espectro ( $C$  o  $C_{tr}$ ) están basados en dos espectros típicos, que se muestran en la Tabla 3.3.3. Los espectros son ponderados A y el nivel global normalizado a 0 dB.

Estos términos se han introducido para tener en cuenta los diferentes espectros de las fuentes de ruido:  $C$  para ruido rosa y  $C_{tr}$  para ruido urbano, y así mejorar la evaluación en el caso de curvas de aislamiento acústico con valores muy bajos en una sola banda de frecuencia.

Tabla 3.3.3: Espectros de nivel sonoro para calcular términos de adaptación.

ESPECTROS PARA CÁLCULO DE TÉRMINOS DE ADAPTACIÓN		
Frecuencia [Hz]	Espectro nº 1 para calcular $C$ [dB]	Espectro nº2 para calcular $C_{tr}$ [dB]
100	-29	-20
125	-26	-20
160	-23	-18
200	-21	-16
250	-19	-15
315	-17	-14
400	-15	-13
500	-13	-12
630	-12	-11
800	-11	-9
1000	-10	-8
1250	-9	-9
1600	-9	-10
2000	-9	-11
2500	-9	-13
3150	-9	-15

Se pueden ver gráficamente en la Figura 3.3.4.

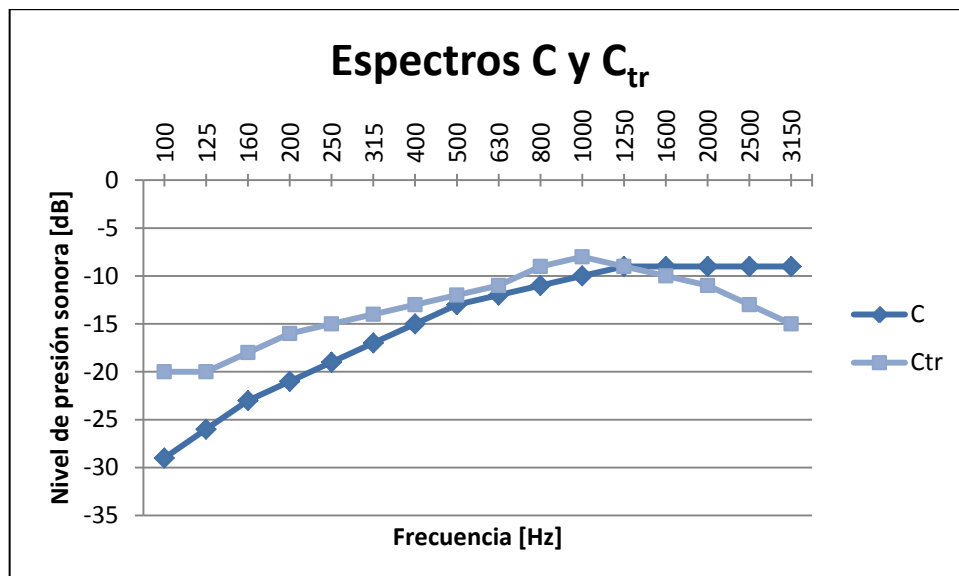


Figura 3.3.4: Espectros de nivel sonoro para calcular términos de adaptación.

Como en la medición se ha usado un espectro de frecuencias más amplio (de 100 Hz a 5000 Hz), en la Tabla 3.3.4 se muestran los espectros para el rango de frecuencias utilizado.

Tabla 3.3.4: Espectros de nivel sonoro para calcular términos de adaptación para un rango de frecuencias ampliado.

ESPECTROS PARA CÁLCULO DE TÉRMINOS DE ADAPTACIÓN		
Frecuencia [Hz]	Espectro nº 1 para calcular $C_{100-5000}$	Espectro nº2 para calcular $C_{tr, 100-5000}$
(Hz)	[dB]	[dB]
100	-30	-20
125	-27	-20
160	-24	-18
200	-22	-16
250	-20	-15
315	-18	-14
400	-16	-13
500	-14	-12
630	-13	-11
800	-12	-9
1000	-11	-8
1250	-10	-9
1600	-10	-10
2000	-10	-11
2500	-10	-13
3150	-10	-15
4000	-10	-16
5000	-10	-18

Gráficamente se pueden visualizar en la Figura 3.3.5.

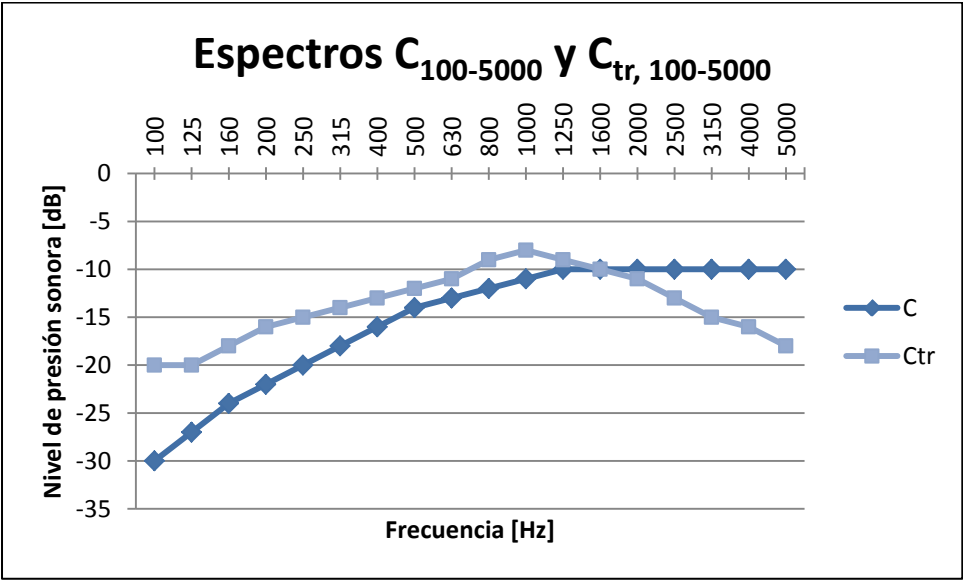


Figura 3.3.5: Espectros de nivel sonoro para calcular términos de adaptación para un rango de frecuencias ampliado.

### Método de comparación

Para valorar los resultados realizados conforme a la Norma UNE-EN ISO 140-4:1999 [12] en bandas de tercio de octava, los datos de la misma se deberán expresar con una cifra decimal. Desplácese la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor que 32,0 dB.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cuando el resultado de las mediciones es inferior al valor de referencia. Solo deben considerarse las desviaciones desfavorables.

El valor, en decibelios, de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, de acuerdo con este procedimiento, es el valor de  $R'_w$ ,  $D_{n,w}$  o  $D_{nT,w}$ .

### Cálculo de los términos de adaptación espectral

Los términos de adaptación espectral,  $C_j$ , en decibelios, deben calcularse con los espectros sonoros dados en la Tabla 3.3.4, mediante la ecuación

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad (3.3.8)$$

donde

$j$  es el índice de los espectros sonoros 1 y 2;

$X_w$  es el valor del índice global calculado;

$X_{Aj}$  se calcula a partir de

$$X_{Aji} = -10 \cdot \lg \sum 10^{(L_{ij}-X_i)/10} \text{ dB} \quad (3.3.9)$$

donde

$i$  es el índice para las bandas de tercio de octava de 100 Hz a 3150 Hz;

$L_{ij}$  son los niveles de la frecuencia  $i$  para el espectro  $j$ ;

$X_i$  es la magnitud calculada según la Norma Internacional ISO 140-4 a la frecuencia de medida  $i$  expresado con una cifra decimal.

Calcúlese la magnitud,  $X_{Aj}$ , con suficiente precisión y redondéese el resultado a un valor entero. El término de adaptación resultante es un valor entero por definición y se debe identificar de acuerdo con el espectro utilizado.

### **Expresión de las propiedades de los elementos de construcción**

Calcúlense solamente las magnitudes globales a partir de los valores en bandas de tercio de octava. Exprésense los dos términos de adaptación espectral, entre paréntesis, a continuación de la magnitud global, separados por punto y coma.

#### **3.2.3.3 Determinación, verificación y aplicación de datos de precisión**

La determinación, verificación y aplicación de datos de precisión se realiza según la Norma UNE-EN 20140-2 [14]. Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 20140-2.

### **INTRODUCCIÓN**

No es posible especificar completamente la construcción de las instalaciones de los laboratorios de ensayo o de las condiciones del campo acústico obtenido. Consecuentemente, algunos detalles de los montajes o ensayos y procedimientos se dejan al arbitrio del operador. Esto, junto al carácter estadístico del campo acústico en recintos cerrados, conduce a algunas incertidumbres en los resultados debidas a influencias sistemáticas y a influencias no sistemáticas (aleatorias).

Las influencias aleatorias pueden determinarse mediante la repetición de medidas independientes bajo condiciones esencialmente similares.

Las influencias sistemáticas no pueden determinarse mediante un procedimiento sencillo. Generalmente se necesitan medidas comparadas realizadas en diferentes instalaciones y el conocimiento de las incertidumbres aleatorias bajo esas condiciones para saber las influencias sistemáticas.

De acuerdo con los métodos estadísticos modernos, en la Norma [14] se utilizarán conceptos de repetibilidad y reproducibilidad obtenidos de resultados de pruebas completas. Los valores de repetibilidad y reproducibilidad ofrecen un modo sencillo de caracterizar la precisión de un método de medida y de medidas realizadas con dicho método.

La repetibilidad y la reproducibilidad son dos extremos, que miden respectivamente la mínima y máxima variabilidad de los resultados de las pruebas.



**DEFINICIONES**

Para los fines de Norma [14] se aplican las definiciones que se dan a continuación.

**Media aritmética,  $\bar{y}$** 

La media aritmética de los resultados de ensayo viene dada por la ecuación:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.3.10)$$

donde

$n$  es el número de resultados de ensayo  $y_i$ .

**Varianza de la muestra,  $s^2$** 

La suma de los cuadrados de las desviaciones de los resultados del ensayo respecto de la media aritmética, dividido por el número de grados de libertad. En el caso simple de  $n$  resultados de ensayo consecutivos (no agrupados), la varianza de la muestra viene dada por la ecuación:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.3.11)$$

**Desviación estándar,  $s$** 

La raíz cuadrada de la varianza, dada por la ecuación (3.3.11)

**Número de grados de libertad,  $\nu$** 

El número de términos independientes contenidos en la expresión de la varianza de la muestra. En el caso simple de  $n$  resultados de ensayo consecutivos (no agrupados):

$$\nu = n - 1 \quad (3.3.12)$$

**Repetibilidad**

La proximidad entre resultados de ensayo independientes entre sí, obtenidos bajo condiciones de repetibilidad.

**Condiciones de repetibilidad**

Condiciones en las que se obtienen resultados de ensayo, independientes entre sí, mediante el mismo método, sobre el mismo material, en el mismo laboratorio, con el mismo equipo, por el mismo operador, en un intervalo de tiempo pequeño.

**Desviación estándar de repetibilidad,  $s_r$** 

La desviación estándar de los resultados de ensayo obtenidos bajo condiciones de repetibilidad. Es un parámetro de dispersión de la distribución de los resultados de ensayo bajo condiciones de repetibilidad.

**Valor de repetibilidad,  $r$** 

El valor por debajo del cual cabe esperar que se encuentre la diferencia absoluta entre los resultados de ensayo obtenidos bajo condiciones de repetibilidad, con una probabilidad del 95%.

**Reproducibilidad**

La proximidad entre resultados de ensayo obtenidos bajo condiciones de reproducibilidad.

**Condiciones de reproducibilidad**

Condiciones en las que se obtienen resultados de ensayo con el mismo método, sobre idéntico material, en diferentes laboratorios, con diferentes operadores, usando diferente equipamiento.

**Desviación estándar de reproducibilidad,  $s_R$** 

La desviación estándar de los resultados de ensayo obtenidos bajo condiciones de reproducibilidad. Es un parámetro de dispersión de la distribución de resultados de ensayo bajo condiciones de reproducibilidad.

**Valor de reproducibilidad,  $R$** 

El valor por debajo del cual se puede esperar que se encuentre la diferencia absoluta entre dos resultados de prueba obtenidos bajo condiciones de reproducibilidad, con una probabilidad del 95%.

**Intervalo de confianza (bilateral)**

Un intervalo entre dos límites estimados dentro de los cuales se espera encontrar un parámetro estadístico, con una probabilidad del 95%.

**Diferencia crítica  $CrD_{95}$** 

En términos estadísticos, los valores de repetibilidad y reproducibilidad son diferencias críticas, con un nivel de probabilidad del 95%, válidas para dos resultados cualesquiera de ensayo obtenidos bajo condiciones de repetibilidad y reproducibilidad.

**DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE REPETIBILIDAD  $r$  Y REPRODUCIBILIDAD  $R$  MEDIANTE ENSAYOS INTERLABORATORIOS**

Los valores de repetibilidad  $r$  y reproducibilidad  $R$  de un método de ensayo deben determinarse mediante ensayos interlaboratorios, teniendo en cuenta las consideraciones dadas en este apartado y usando distintas muestras de ensayo.

Los valores de repetibilidad  $r$  y reproducibilidad  $R$  están dados por:

$$r = 2,8\sqrt{s_r^2} \quad (3.3.13)$$

$$R = 2,8\sqrt{s_R^2} = 2,8\sqrt{s_r^2 + s_L^2} \quad (3.3.14)$$

donde

$s_r^2$  es la media de las varianzas obtenidas en todos los laboratorios participantes (ponderadas de acuerdo con el número de resultados válidos obtenidos en cada laboratorio);

$s_L^2$  es la varianza interlaboratorios tomada sobre todos los laboratorios participantes;

$s_R^2$  es la varianza de la reproducibilidad.

Las condiciones acústicas de ensayo para determinar los valores de repetibilidad  $r$  y reproducibilidad  $R$  deben corresponder a las partes más significativas de la Norma UNE-EN ISO 140-4 [12]. La muestra de ensayo no debe montarse de nuevo entre cada dos mediciones sucesivas.

Considerando la dependencia con la frecuencia de las magnitudes medidas en acústica de edificios, el número de laboratorios debe ser, desde un punto de vista estadístico, de  $p = 8$  como mínimo, pero es preferible superar este número a fin de reducir el número de repeticiones requeridas del ensayo. El número  $n$  de resultados de ensayo en cada laboratorio debe elegirse de tal modo que  $p(n-1) \geq 35$ .

Para verificar los valores de repetibilidad  $r$  como parte de los ensayos interlaboratorios, al menos  $p = 8$  laboratorios deben suministrar  $n = 5$  resultados de ensayo completos, como mínimo. Entonces, para cada banda de frecuencia deben calcularse  $n(n-1)/2$  diferencias absolutas  $y_i$  e  $y_k$  dentro de cada laboratorio y compararse con la diferencia crítica  $CrD_{95} (|y_i - y_k|) = r$  de cada banda de frecuencia.

Para la verificación de los valores de reproducibilidad  $R$  como parte de los ensayos de comparación interlaboratorios, si  $p = 8$  laboratorios que han tomado parte en ensayos de comparación han hecho solo una determinación de cada uno, entonces  $p(p-1)/2$  diferencias absolutas entre los resultados  $y_a$  e  $y_b$  de cada dos laboratorios  $a$  y  $b$  pueden compararse con la diferencia crítica  $CrD_{95} (|y_a - y_b|) = R$  en cada banda de frecuencia. No obstante cada laboratorio debe hacer al menos  $n = 5$  determinaciones y usarse una diferencia crítica correspondiente al valor medio de los resultados de cada laboratorio.

## PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN

### Verificación de los valores de repetibilidad $r$ y reproducibilidad $R$

Llevando a cabo una serie de pruebas bajo condiciones de repetibilidad, un laboratorio puede verificar sus valores de repetibilidad usando el procedimiento siguiente:

Se llevarán a cabo al menos 5 pruebas completas comprendiendo 16 bandas de frecuencia sobre una muestra similar a aquella utilizada en la prueba interlaboratorios. Sólo serán considerados satisfactorios los valores de repetibilidad y de la reproducibilidad así obtenidos si la desviación estándar  $s_x$  para las 16 bandas de frecuencia satisface la ecuación 3.3.15.

$$s_x \leq mr \quad (3.3.15)$$

donde

$r$  es el valor de repetibilidad determinado en la prueba interlaboratorios;

$m$  es un factor dado en la Tabla 3.3.5.

Tabla 3.3.5: Factor  $m$ .

Número de ensayos, $n_x$	5	6	7	8	9	10
Factor $m$	0,72	0,68	0,65	0,63	0,61	0,60

Como el procedimiento para determinar los valores de repetibilidad y reproducibilidad esbozados anteriormente no habían sido todavía utilizados en acústica edificatoria a gran escala cuando se redactó la Norma [14], aún no existían datos precisos de las desviaciones estándar y, por tanto, de la repetibilidad  $r$  y reproducibilidad  $R$  de los resultados de medidas completas. Sólo se disponía de valores aproximados obtenidos en unas pocas pruebas. Estos datos se dan en el Anexo A de la Norma [14].

### 3.2.4 Desarrollo de la medida

En primer lugar se debe comprobar que se cumplen los requisitos que impone la Norma UNE-EN ISO 140-4:1999 [12].

Los recintos utilizados en la medida son la cámara reverberante y el laboratorio adyacente situados en la Escuela de Ingeniería Técnica de Telecomunicación del Campus Sur de la Universidad Politécnica de Madrid.

La forma de la cámara reverberante y sus dimensiones se pueden observar en la Figura 3.1.2.

La cámara reverberante, que será considerada como recinto emisor, tiene un volumen de  $206 \text{ m}^3$  y una superficie de  $344 \text{ m}^2$ .

El laboratorio adyacente, que será considerado como recinto receptor, tiene un volumen de  $113,1 \text{ m}^3$ .

La pared de separación tiene una superficie de  $14,4 \text{ m}^2$ .

De acuerdo con la Norma [12], se establecen las posiciones de medida en la cámara reverberante que se muestran en la Figura 3.3.6, y en las posiciones del recinto receptor que se muestran en la Figura 3.3.7.

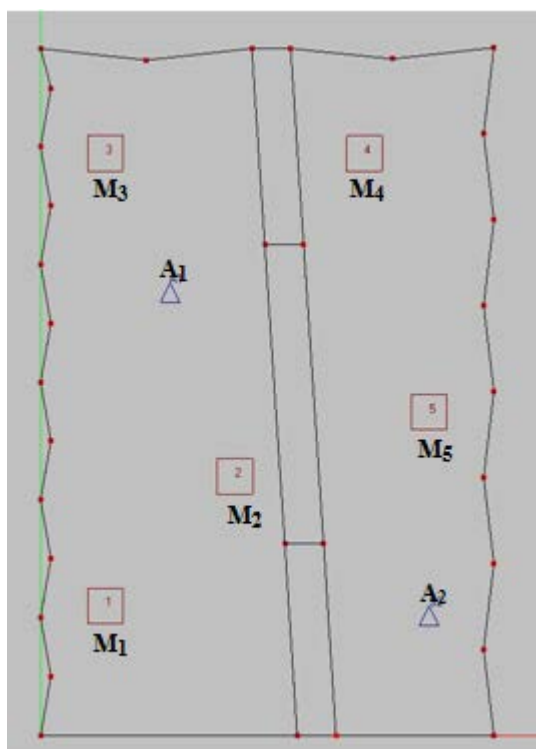


Figura 3.3.6: Posiciones de micrófono – altavoz para la medición en la cámara reverberante.

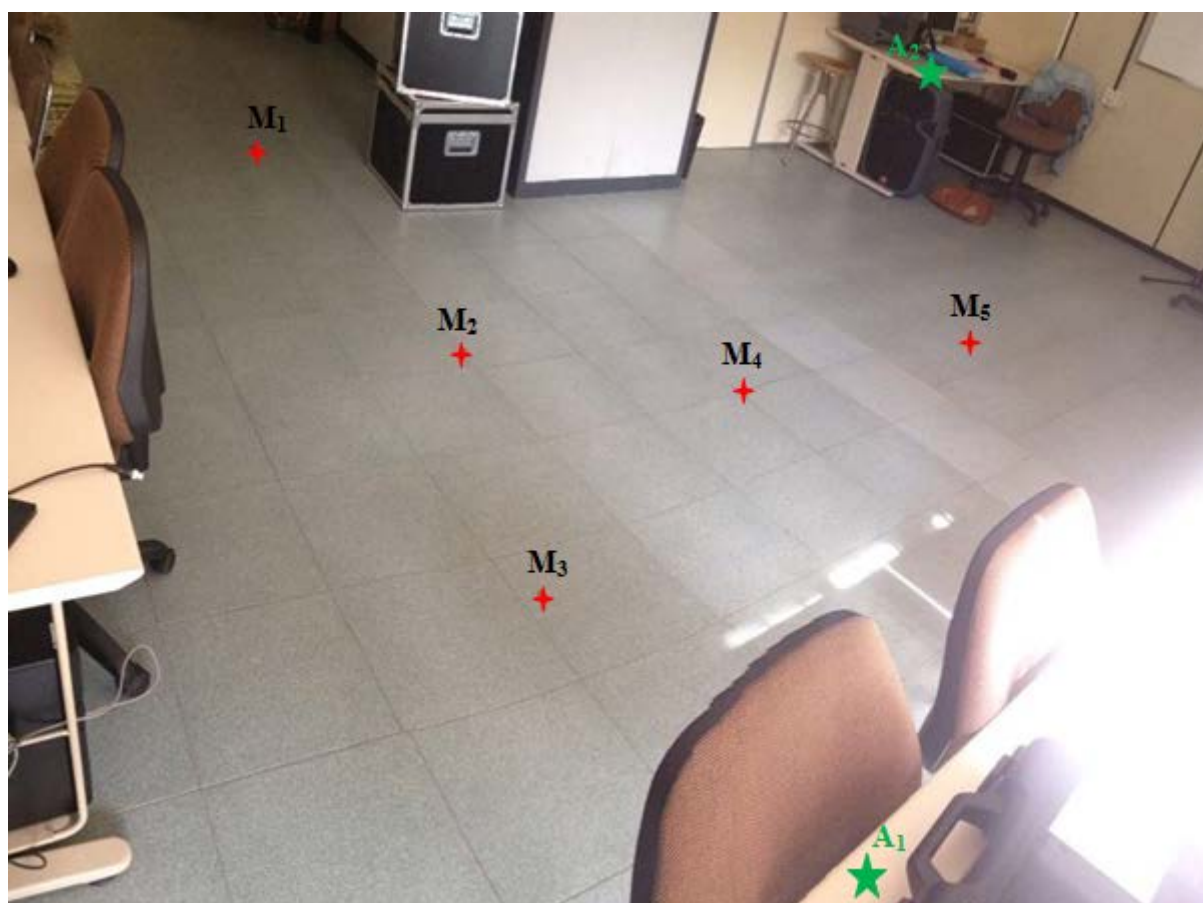


Figura 3.3.7: Posiciones de micrófono – altavoz para la medición en el laboratorio.

En primer lugar se medirá el nivel de ruido emitido en la cámara reverberante y el nivel de ruido recibido y ruido de fondo en el laboratorio. Para ello es necesario implementar el diagrama de conexionado que se muestra en la Figura 3.3.1.

Primeramente se calibran los micrófonos que se van a usar. Estos micrófonos son los siguientes:

- Micrófono AVM de 1/4", modelo MI17, número de serie 1831.



Figura 3.3.8: Características del micrófono usado con número de serie 1831.

- Micrófono AVM de 1/4", modelo MI17, número de serie 1833.



Figura 3.3.9: Características del micrófono usado con número de serie 1833.

- Micrófono AVM de 1/4", modelo MI17, número de serie 1834.

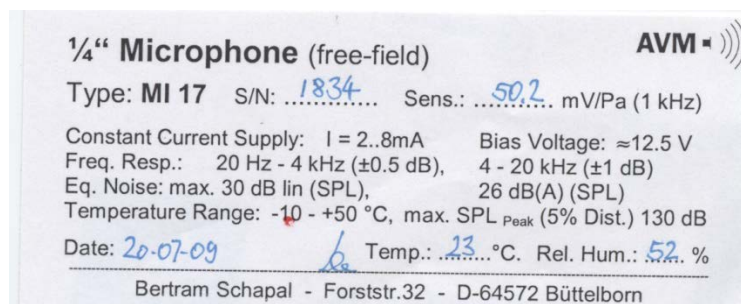


Figura 3.3.10: Características del micrófono usado con número de serie 1834.

- Micrófono AVM de ¼", modelo MI17, número de serie 1835.



Figura 3.3.11: Características del micrófono usado con número de serie 1835.

Tal y como se indica en el apartado 2 *Configuración* del Capítulo 2, en el apartado 2.4 *Configuración de hardware*, se asignan estos micrófonos a los distintos canales, tal y como se muestra en la Tabla 3.3.6.

Tabla 3.3.6: Asignación de canales.

Micrófono	Canal
Nº de serie	Nº de canal
1831	1
1833	2
1834	3
1835	4

Los micrófonos de los canales 1 y 2 estarán en el interior de la sala emisora, y los micrófonos 3 y 4 estarán en el interior de la sala receptora.

Una vez calibrados los micrófonos se inicia la configuración de la medida. Esta configuración se hará como se indica a continuación:

### Emisión

Se abre el generador dBGene perteneciente al paquete de dBFA, de 01dB –Metravib. En él se selecciona Ruido Blanco, y se elige una duración de la emisión de 17 s, aunque la medida sea de 15 s. El generador con la selección de ruido blanco se muestra en la Figura 3.3.12.



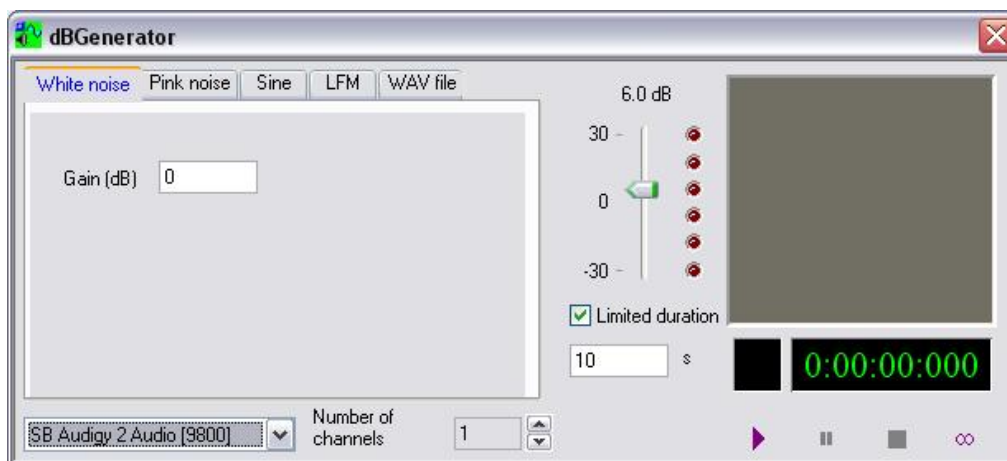


Figura 3.3.12: Generador para la medida de emisión y recepción.

### Recepción

En la aplicación dBati perteneciente al paquete dBBATI32 de 01dB –Metravib, se selecciona la pestaña *Adquisición* y se elige la opción *Nuevo*. Se abre el controlador de medida, y en *Configuración* elegimos *Emisión y recepción simultánea* y *Ruido de fondo*. Los parámetros a usar se detallan a continuación:

- **Ruido de fondo**

Únicamente es necesario seleccionar los canales 3 y 4, pues el ruido de fondo únicamente se va a medir en la sala receptora.

Las medidas se realizarán en bandas de tercio de octava, con un margen de frecuencias entre 100 Hz y 5000 Hz.

La duración de la medida será de 15 s.

Se realizará un promediado de tres medidas en cada punto.

- **Emisión y recepción simultánea**

En los canales 1 y 2 se elige emisión, ya que están localizados en la sala emisora. Para los canales 3 y 4 se selecciona recepción.

Las medidas se realizarán en tercios de octava, con un margen de frecuencias entre 100 Hz y 5000 Hz.

La duración de la medida será de 15 s para asegurar que da tiempo suficiente a iniciar y detener la fuente y la medida, pues el proceso emisión – medición no está automatizado.

Se realizará un promediado de tres medidas en cada posición fuente – micrófono.

Una vez configurados los parámetros se procede a la medición. Como se dispone de dos micrófonos en cada sala, en cada medida se obtienen los datos de dos posiciones fuente – micrófono, lo cual supone un ahorro de tiempo considerable.

En primer lugar se mide el ruido de fondo y, automáticamente después, el nivel de emisión y recepción (para poder corregir después el nivel de ruido recibido con el ruido de fondo) para cada posición fuente – micrófono.

Una vez realizadas estas medidas, se procede a medir el tiempo de reverberación de la sala receptora. Para ello es necesario implementar el diagrama de conexionado de la Figura 3.3.2. La configuración de los elementos necesarios para realizar esta medición se detalla a continuación:

### Emisión

Se abre el generador dBGene perteneciente al paquete de dBFA, de 01dB-Metravib. En él se selecciona Ruido Rosa, y se elige una duración de la emisión de 10 s. Esto se muestra en la Figura 3.3.13.

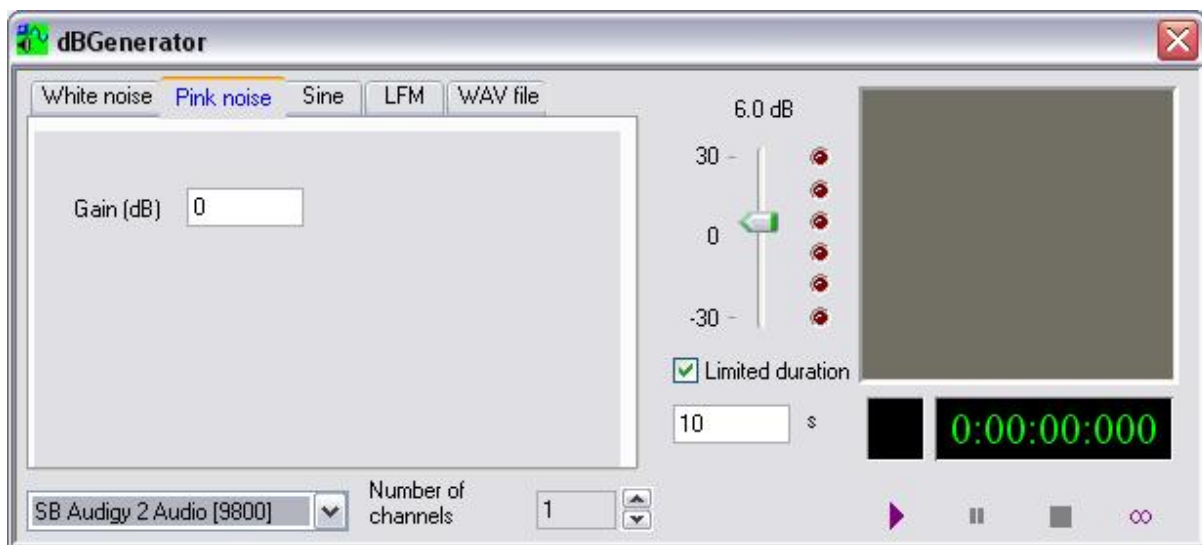


Figura 3.3.13: Generador para la medida de tiempo de reverberación.

## Recepción

Para configurar la medida de tiempo de reverberación, se selecciona la pestaña *Adquisición* de la ventana principal de dBbati. En ella se elige *Nuevo*, y se abrirá el controlador de medida. En *Configuración* marcamos tiempo de reverberación. Los parámetros necesarios para la realización de esta medida se detallan a continuación.

Se seleccionan los canales 3 y 4, pues son los que están situados en la sala receptora.

Las medidas se realizarán en bandas de tercio de octava, con un margen de frecuencias entre 100 Hz y 5000 Hz.

Es necesario indicar que se va a emplear la técnica de Ruido Interrumpido.

Dado que el procesador utilizado es de tipo lineal, el valor de la constante para los pasos temporales debe ser menor que  $T/12$ , siendo  $T$  el menor tiempo de reverberación registrado en la sala. El menor tiempo de reverberación registrado en la sala receptora es 0,45 s, por lo que el valor de la constante debe ser menor que 37,50 ms. Por ello se establece que un valor para dicha constante de 35 ms será suficiente.

La duración de la medida será de 15 s.

Se promedian tres medidas en cada punto, y se ha de seleccionar la pestaña *Almacenamiento de espectros intermedios*. En cuanto al rango dinámico, se selecciona comenzar en -5 dB y dinámica de 20 dB.

Una vez configurados los parámetros para la medida de tiempo de reverberación, se procede a comenzar la medición.

### 3.3 Cálculos y resultados obtenidos

En la Tabla 3.3.7 se muestran los resultados obtenidos de nivel de ruido emitido.

Tabla 3.3.7: Nivel de ruido emitido medido en sala emisora.

RUIDO EMITIDO EN LA SALA EMISORA										
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1					Fuente posición A2				
	M1 [dB]	M2 [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	M5 [dB]	M1 [dB]	M2 [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	M5 [dB]
100	69,5	70,7	74,1	67,4	69,6	66,9	65,2	66,4	67,2	70,6
125	72,0	74,7	74,5	74,0	71,9	71,9	72,9	71,0	73,9	72,2
160	79,6	78,3	79,4	78,3	78,1	79,9	79,1	79,9	79,6	80,4
200	82,0	84,2	83,8	83,0	85,3	81,0	82,6	80,7	82,0	83,5
250	83,2	82,5	83,7	83,4	81,4	84,5	82,0	84,0	83,2	82,8
315	82,8	85,1	83,3	82,7	83,4	81,7	82,7	82,3	83,4	81,3
400	82,7	82,9	84,5	82,7	81,8	81,2	82,7	82,4	83,7	82,9
500	82,2	82,1	83,8	81,7	81,4	80,5	81,0	82,0	81,7	82,5
630	82,5	81,9	82,1	80,5	81,2	81,0	80,6	80,7	81,1	81,5
800	81,3	81,3	81,1	80,4	80,4	80,2	80,8	80,5	81,6	81,1
1000	80,1	80,1	80,9	79,5	80,2	78,8	79,5	79,5	80,4	79,6
1250	81,8	81,3	82,5	80,9	80,5	80,6	80,7	80,9	81,8	81,2
1600	84,1	83,7	84,2	83,4	83,2	82,3	83,0	83,6	83,3	83,1
2000	81,6	82,5	82,6	81,0	81,2	81,1	81,5	81,1	81,6	81,7
2500	80,5	80,9	81,6	79,6	80,2	79,2	80,0	80,3	81,0	80,2
3150	79,9	80,0	80,5	79,3	78,9	78,1	78,7	79,2	80,2	79,6
4000	77,8	78,1	78,7	77,6	77,3	76,5	77,6	77,6	78,5	77,6
5000	79,6	79,8	80,5	78,7	78,3	77,1	78,5	78,5	79,9	78,4

De acuerdo con la ecuación (3.3.1), se muestra el promediado de las distintas posiciones fuente – micrófono en la Tabla 3.3.8.

Tabla 3.3.8: Ruido emitido en sala emisora.

<b>RUIDO EMITIDO EN SALA EMISORA</b>	
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>L<sub>1</sub> [dB]</b>
<b>100</b>	69,6
<b>125</b>	73,1
<b>160</b>	79,3
<b>200</b>	83,0
<b>250</b>	83,2
<b>315</b>	83,0
<b>400</b>	82,8
<b>500</b>	82,0
<b>630</b>	81,4
<b>800</b>	80,9
<b>1000</b>	79,9
<b>1250</b>	81,3
<b>1600</b>	83,4
<b>2000</b>	81,6
<b>2500</b>	80,4
<b>3150</b>	79,5
<b>4000</b>	77,8
<b>5000</b>	79,0

En la Tabla 3.3.9 se muestra el ruido recibido y en la Tabla 3.3.10 el ruido de fondo, ambos medidos en la sala receptora.

Tabla 3.3.9: Nivel de ruido recibido medido en sala receptora.

RUIDO RECIBIDO EN LA SALA RECEPTORA										
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1					Fuente posición A2				
	M1 [dB]	M2 [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	M5 [dB]	M1 [dB]	M2 [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	M5 [dB]
100	35,7	43,2	37,2	35,5	44,8	33,4	40,8	38,7	36,8	42,8
125	39,1	38,3	40,0	42,7	39,2	36,9	36,0	42,5	43,9	40,1
160	45,1	46,4	45,4	42,9	45,3	42,5	45,2	45,1	43,7	44,7
200	50,5	47,4	50,2	49,5	49,5	48,3	44,9	49,0	48,1	47,0
250	52,1	50,9	52,9	50,3	52,5	50,8	47,0	51,4	53,8	53,2
315	49,8	52,3	50,8	52,2	53,7	45,9	49,3	49,0	51,8	52,7
400	48,2	51,7	50,2	51,4	49,8	46,0	48,0	50,2	50,7	49,7
500	47,8	50,8	50,3	48,2	49,6	45,1	47,0	48,6	48,7	49,0
630	49,0	50,3	49,3	51,3	50,8	45,5	46,2	49,2	50,1	49,0
800	51,5	53,5	53,0	53,3	54,0	49,4	52,0	53,0	53,1	53,1
1000	54,2	55,3	55,9	56,0	57,7	53,0	54,5	55,3	55,5	55,4
1250	55,9	56,9	57,3	57,8	57,8	53,8	55,1	57,0	57,1	57,6
1600	56,1	57,2	57,6	57,6	58,3	54,4	55,0	58,2	57,9	57,8
2000	53,1	54,0	54,2	53,6	54,2	49,5	51,1	53,4	53,5	53,1
2500	51,1	52,3	52,0	51,7	52,4	48,4	49,0	52,1	52,4	51,8
3150	50,0	50,3	51,2	50,9	50,7	47,5	47,8	50,6	50,4	50,4
4000	43,9	44,0	45,3	44,4	45,0	41,4	41,6	44,5	43,8	44,5
5000	42,7	44,2	43,9	44,2	44,7	39,3	40,6	42,9	43,2	43,1

Tabla 3.3.10: Ruido de fondo medido en sala receptora.

RUIDO DE FONDO EN SALA RECEPTORA										
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1					Fuente posición A2				
	M1 [dB]	M2 [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	M5 [dB]	M1 [dB]	M2 [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	M5 [dB]
100	31,7	38,1	31,3	31,5	40,6	32,6	39,4	31,9	32,4	40,3
125	27,6	27,2	27,8	29,0	27,6	27,7	26,1	28,3	27,5	28,1
160	32,3	32,0	32,5	28,9	30,3	32,0	31,5	34,6	31,6	35,2
200	27,3	27,8	28,6	29,5	30,3	28,0	27,5	29,6	28,8	32,0
250	28,4	30,1	29,0	26,8	29,1	27,6	28,7	29,6	28,1	29,7
315	28,2	28,8	33,9	28,9	30,2	26,3	29,9	33,5	30,4	30,5
400	23,6	23,6	24,0	24,1	24,8	24,7	23,2	24,3	24,2	26,2
500	25,7	23,6	24,3	23,9	23,8	24,6	23,2	23,8	23,3	25,3
630	21,2	22,4	21,5	22,6	22,6	21,0	21,8	23,3	23,0	27,5
800	20,4	20,8	20,1	21,9	21,4	19,5	20,8	21,1	21,6	24,0
1000	18,4	19,8	19,4	19,8	19,3	18,9	19,8	19,5	20,6	22,0
1250	18,3	19,4	18,2	19,5	18,3	17,9	19,5	18,3	20,1	19,4
1600	17,3	19,2	16,9	19,1	17,3	16,9	19,4	17,3	19,5	18,6
2000	16,2	19,0	16,2	19,1	16,5	16,2	19,1	16,5	19,3	17,9
2500	16,4	19,0	16,5	19,1	16,6	16,5	19,3	16,6	19,5	17,3
3150	16,8	19,3	16,8	19,4	16,8	16,8	19,7	16,9	19,7	17,3
4000	17,5	19,7	17,6	19,9	17,5	17,6	20,0	17,6	20,1	17,8
5000	18,9	20,6	18,8	20,6	18,7	18,7	20,6	18,5	20,5	18,5

Se procede a corregir el ruido recibido con el ruido de fondo siguiendo las pautas que se especifican en el apartado 3.2.3.1 *Medición del aislamiento a ruido aéreo*. En la Tabla 3.3.11 se muestra el nivel de ruido recibido ya corregido, resaltando los valores que han sido corregidos.

Tabla 3.3.11: Nivel de ruido recibido, corregido con el ruido de fondo.

NIVEL DE RUIDO RECIBIDO CORREGIDO										
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1					Fuente posición A2				
	M1 [dB]	M2 [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	M5 [dB]	M1 [dB]	M2 [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	M5 [dB]
<b>100</b>	<b>34,4</b>	<b>41,9</b>	<b>35,9</b>	<b>34,2</b>	<b>43,5</b>	<b>32,1</b>	<b>39,5</b>	<b>37,7</b>	<b>35,5</b>	<b>41,5</b>
<b>125</b>	39,1	38,3	40,0	42,7	39,2	<b>36,3</b>	<b>35,5</b>	42,5	43,9	40,1
<b>160</b>	45,1	46,4	45,4	42,9	45,3	42,5	45,2	45,1	43,7	<b>44,2</b>
<b>200</b>	50,5	47,4	50,2	49,5	49,5	48,3	44,9	49,0	48,1	47,0
<b>250</b>	52,1	50,9	52,9	50,3	52,5	50,8	47,0	51,4	53,8	53,2
<b>315</b>	49,8	52,3	50,8	52,2	53,7	45,9	49,3	49,0	51,8	52,7
<b>400</b>	48,2	51,7	50,2	51,4	49,8	46,0	48,0	50,2	50,7	49,7
<b>500</b>	47,8	50,8	50,3	48,2	49,6	45,1	47,0	48,6	48,7	49,0
<b>630</b>	49,0	50,3	49,3	51,3	50,8	45,5	46,2	49,2	50,1	49,0
<b>800</b>	51,5	53,5	53,0	53,3	54,0	49,4	52,0	53,0	53,1	53,1
<b>1000</b>	54,2	55,3	55,9	56,0	57,7	53,0	54,5	55,3	55,5	55,4
<b>1250</b>	55,9	56,9	57,3	57,8	57,8	53,8	55,1	57,0	57,1	57,6
<b>1600</b>	56,1	57,2	57,6	57,6	58,3	54,4	55,0	58,2	57,9	57,8
<b>2000</b>	53,1	54,0	54,2	53,6	54,2	49,5	51,1	53,4	53,5	53,1
<b>2500</b>	51,1	52,3	52,0	51,7	52,4	48,4	49,0	52,1	52,4	51,8
<b>3150</b>	50,0	50,3	51,2	50,9	50,7	47,5	47,8	50,6	50,4	50,4
<b>4000</b>	43,9	44,0	45,3	44,4	45,0	41,4	41,6	44,5	43,8	44,5
<b>5000</b>	42,7	44,2	43,9	44,2	44,7	39,3	40,6	42,9	43,2	43,1

Una vez corregido el nivel de ruido recibido, es necesario promediar los valores obtenidos en las diferentes posiciones fuente – micrófono según la ecuación (3.3.1). Los resultados de este promediado se muestran en la Tabla 3.3.12.

Tabla 3.3.12: Ruido recibido en la sala receptora.

RUIDO RECIBIDO EN SALA RECEPTORA	
Frecuencia [Hz]	L <sub>2</sub> [dB]
100	39,1
125	40,5
160	44,7
200	48,7
250	51,8
315	51,2
400	49,9
500	48,8
630	49,4
800	52,7
1000	55,4
1250	56,8
1600	57,2
2000	53,2
2500	51,5
3150	50,1
4000	44,0
5000	43,1

En la Figura 3.3.14 se muestran las curvas de nivel de ruido emitido y ruido recibido.

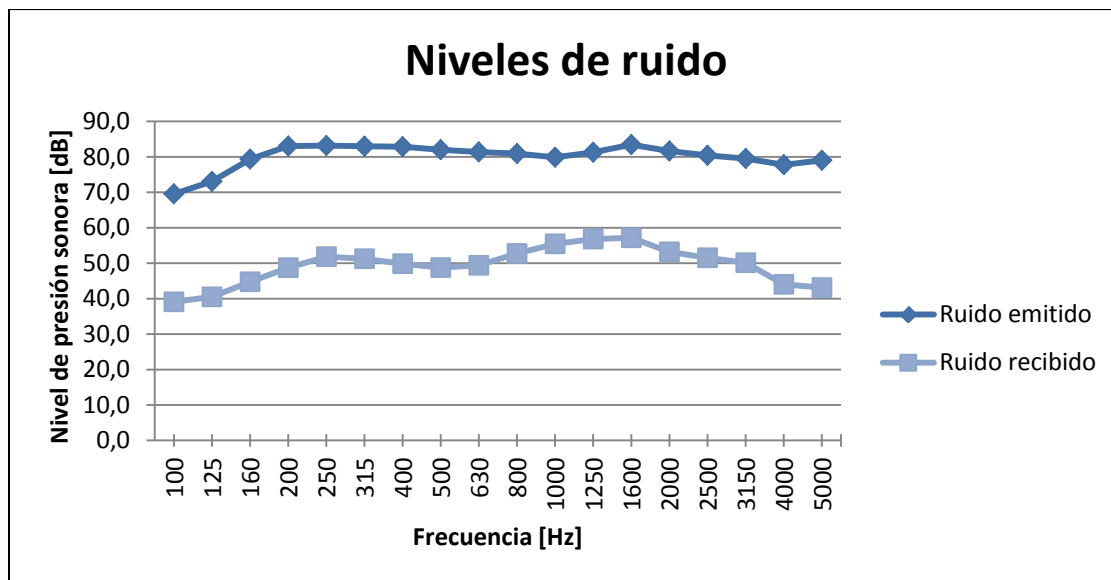


Figura 3.3.14: Curvas de nivel de ruido emitido y ruido recibido.

A continuación, en la Tabla 3.3.13 se muestra el tiempo de reverberación obtenido en cada posición fuente – micrófono, y en la Tabla 3.3.14 el promediado aritmético de dicho tiempo de reverberación.



Tabla 3.3.13: Valores de tiempo de reverberación obtenidos midiendo en la sala receptora.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN SALA RECEPTORA										
Frecuencia [Hz]	Fuente posición A1					Fuente posición A2				
	M1 [s]	M2 [s]	M3 [s]	M4 [s]	M5 [s]	M1 [s]	M2 [s]	M3 [s]	M4 [s]	M5 [s]
100	0,42	0,46	0,67	0,49	0,60	0,49	0,60	0,54	0,38	0,53
125	0,50	0,33	0,98	0,44	0,52	0,45	0,40	0,61	0,50	0,60
160	0,62	0,70	0,63	0,66	0,47	0,51	0,60	0,65	0,61	0,60
200	0,39	0,49	0,51	0,74	0,60	0,54	0,48	0,55	0,36	0,48
250	0,45	0,56	0,51	0,66	0,47	0,69	0,50	0,56	0,57	0,52
315	0,49	0,63	0,40	0,43	0,58	0,46	0,47	0,51	0,38	0,53
400	0,42	0,69	0,40	0,53	0,41	0,46	0,51	0,50	0,56	0,69
500	0,49	0,53	0,51	0,51	0,55	0,50	0,42	0,51	0,46	0,48
630	0,46	0,45	0,41	0,46	0,31	0,58	0,41	0,48	0,43	0,40
800	0,41	0,46	0,38	0,45	0,41	0,39	0,38	0,49	0,42	0,41
1000	0,42	0,46	0,49	0,45	0,39	0,42	0,39	0,47	0,52	0,46
1250	0,42	0,45	0,53	0,48	0,51	0,47	0,52	0,46	0,48	0,49
1600	0,47	0,54	0,45	0,42	0,47	0,48	0,45	0,54	0,51	0,49
2000	0,46	0,49	0,47	0,51	0,54	0,51	0,45	0,52	0,46	0,60
2500	0,49	0,54	0,49	0,46	0,51	0,52	0,48	0,50	0,51	0,46
3150	0,47	0,51	0,46	0,45	0,46	0,50	0,47	0,51	0,49	0,50
4000	0,50	0,50	0,45	0,48	0,48	0,50	0,47	0,48	0,49	0,48
5000	0,48	0,48	0,45	0,49	0,45	0,50	0,47	0,48	0,49	0,47

Tabla 3.3.14: Tiempos de reverberación promedio de la sala receptora.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN	
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación promedio, T [s]
100	0,52
125	0,53
160	0,61
200	0,51
250	0,55
315	0,49
400	0,52
500	0,50
630	0,44
800	0,42
1000	0,45
1250	0,48
1600	0,48
2000	0,50
2500	0,50
3150	0,48
4000	0,48
5000	0,48

En la Figura 3.3.15 se muestra el tiempo de reverberación obtenido.

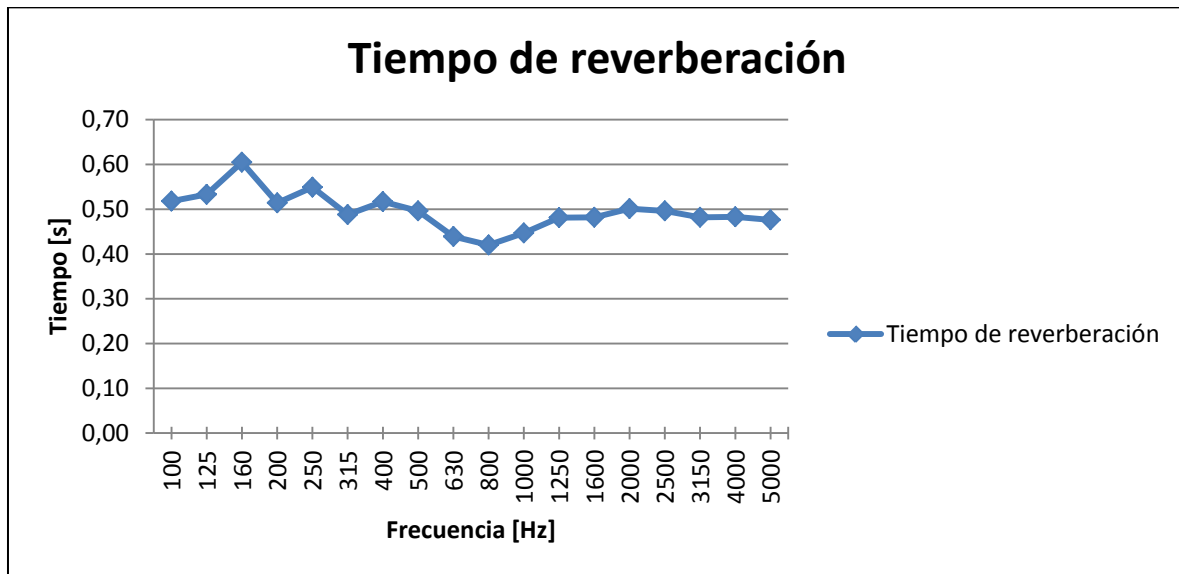


Figura 3.3.15: Tiempo de reverberación de la sala receptora.

Es posible calcular la desviación estándar de la medición del tiempo de reverberación aplicando la ecuación (3.2.23). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.3.15.

Tabla 3.3.15: Desviación estándar de la medición del tiempo de reverberación de la sala receptora.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MEDICIÓN EN LA SALA RECEPTORA	
Frecuencia [Hz]	$\varepsilon_{20}(T) / T$
100	0,22
125	0,20
160	0,16
200	0,16
250	0,14
315	0,13
400	0,11
500	0,10
630	0,10
800	0,09
1000	0,08
1250	0,06
1600	0,06
2000	0,05
2500	0,05
3150	0,04
4000	0,04
5000	0,03

Estos resultados se han obtenido aplicando que el número de curvas de caída evaluadas es 30.

Gráficamente se puede observar en la Figura 3.3.16.

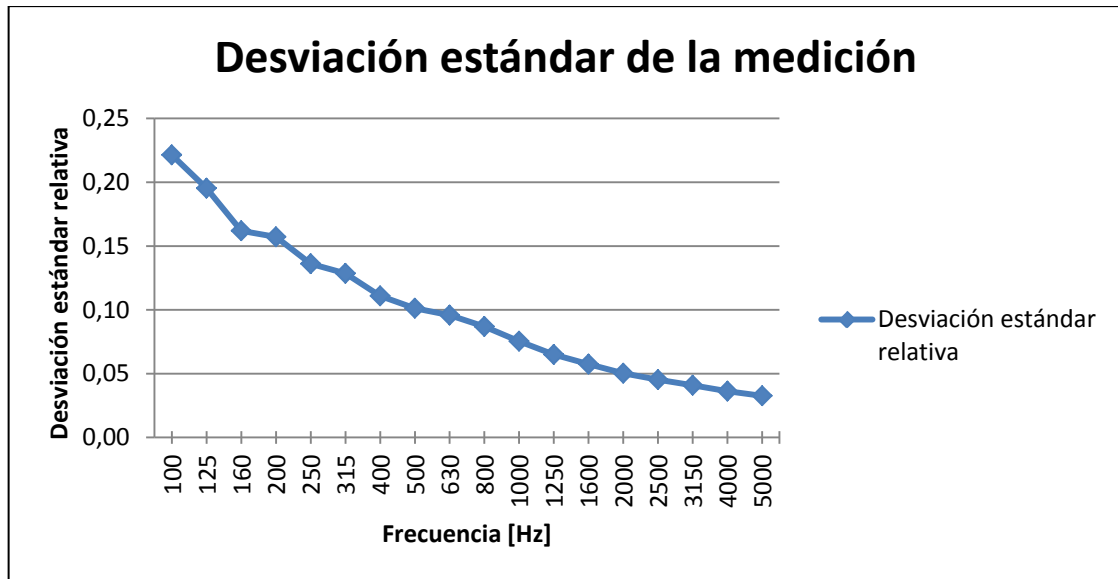


Figura 3.3.16: Desviación estándar de la medición del tiempo de reverberación de la sala receptora.

Como se puede observar, la desviación estándar de la medición es muy elevada en baja frecuencia. Esto puede ser debido a que en realidad en la sala receptora que se ha utilizado para la realización de esta medición no hay un campo sonoro difuso.

Aplicando la ecuación (3.3.6) con el tiempo de reverberación que aparece en la Tabla 3.3.14, se obtiene el área de absorción sonora equivalente de la sala receptora. Estos valores se muestran en la Tabla 3.3.16 y en la Figura 3.3.17.

Tabla 3.3.16: Área de absorción sonora equivalente de la sala receptora.

ÁREA DE ABSORCIÓN SONORA EQUIVALENTE DE LA SALA RECEPTORA		
Frecuencia [Hz]	Tiempo de reverberación, T [s]	Área de absorción sonora equivalente, A [m <sup>2</sup> ]
100	0,52	35,15
125	0,53	34,16
160	0,61	30,10
200	0,51	35,43
250	0,55	33,17
315	0,49	37,31
400	0,52	35,22
500	0,50	36,71
630	0,44	41,48
800	0,42	43,36
1000	0,45	40,74
1250	0,48	37,86
1600	0,48	37,78
2000	0,50	36,35
2500	0,50	36,71
3150	0,48	37,78
4000	0,48	37,70
5000	0,48	38,25

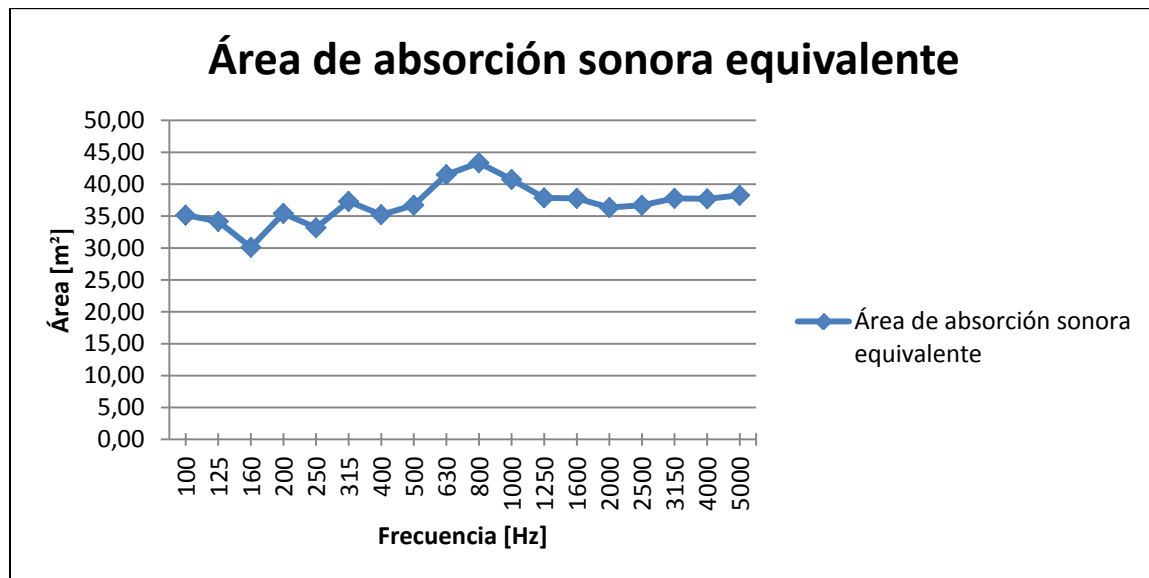


Figura 3.3.17: Área de absorción sonora equivalente del recinto receptor.

Una vez se han mostrado los resultados de las mediciones se procede a realizar los cálculos para la obtención de las magnitudes que se han definido en el apartado 3.2.3.1 *Medición del aislamiento a ruido aéreo*. Estas magnitudes y sus fórmulas se muestran a continuación.

**Diferencia de niveles,  $D$**

$$D = L_1 - L_2 \quad (3.3.16)$$

**Diferencia de niveles normalizada,  $D_n$**

$$D_n = D - 10 \cdot \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (3.3.17)$$

**Diferencia de niveles estandarizada,  $D_{nT}$**

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (3.3.18)$$

**Índice de reducción sonora aparente,  $R'$**

$$R' = D + 10 \cdot \lg \frac{S}{A} \text{ dB} \quad (3.3.19)$$

siendo  $S = 14,35 \text{ m}^2$ .

El valor de estas magnitudes se muestra en la Tabla 3.3.17.

Tabla 3.3.17: Magnitudes de aislamiento.

Frecuencia [Hz]	MAGNITUDES DE AISLAMIENTO			
	D [dB]	D <sub>n</sub> [dB]	D <sub>nT</sub> [dB]	R' [dB]
100	30,5	25,0	30,6	26,6
125	32,6	27,2	32,8	28,8
160	34,6	29,8	35,4	31,4
200	34,3	28,8	34,4	30,4
250	31,3	26,1	31,7	27,7
315	31,8	26,0	31,7	27,6
400	33,0	27,5	33,1	29,1
500	33,2	27,6	33,2	29,1
630	32,0	25,8	31,4	27,4
800	28,1	21,8	27,4	23,3
1000	24,5	18,4	24,0	19,9
1250	24,5	18,7	24,3	20,3
1600	26,2	20,5	26,1	22,0
2000	28,5	22,8	28,5	24,4
2500	28,9	23,2	28,9	24,8
3150	29,4	23,6	29,2	25,2
4000	33,8	28,0	33,6	29,6
5000	35,9	30,1	35,7	31,6

Gráficamente se pueden visualizar a continuación. Los gráficos cumplen las dimensiones especificadas por la Norma [12]. Estas dimensiones son:

- 20 mm de separación cada 10 dB;
- 5 mm de separación para la banda de tercio de octava.

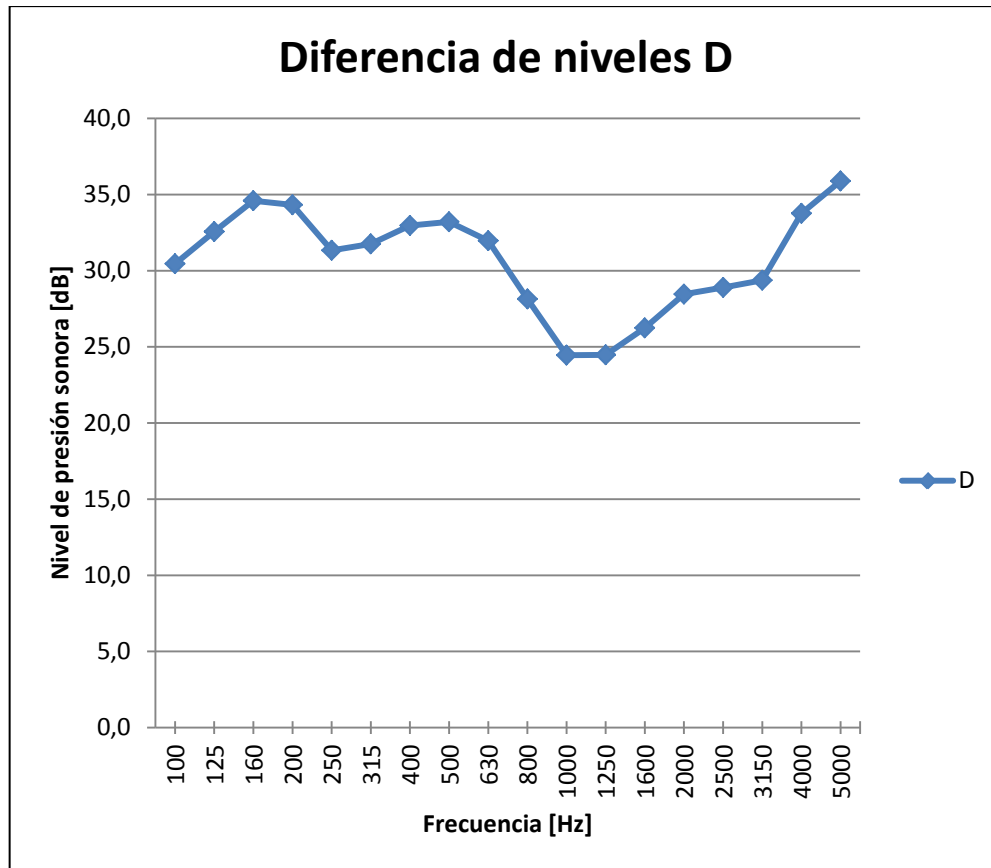
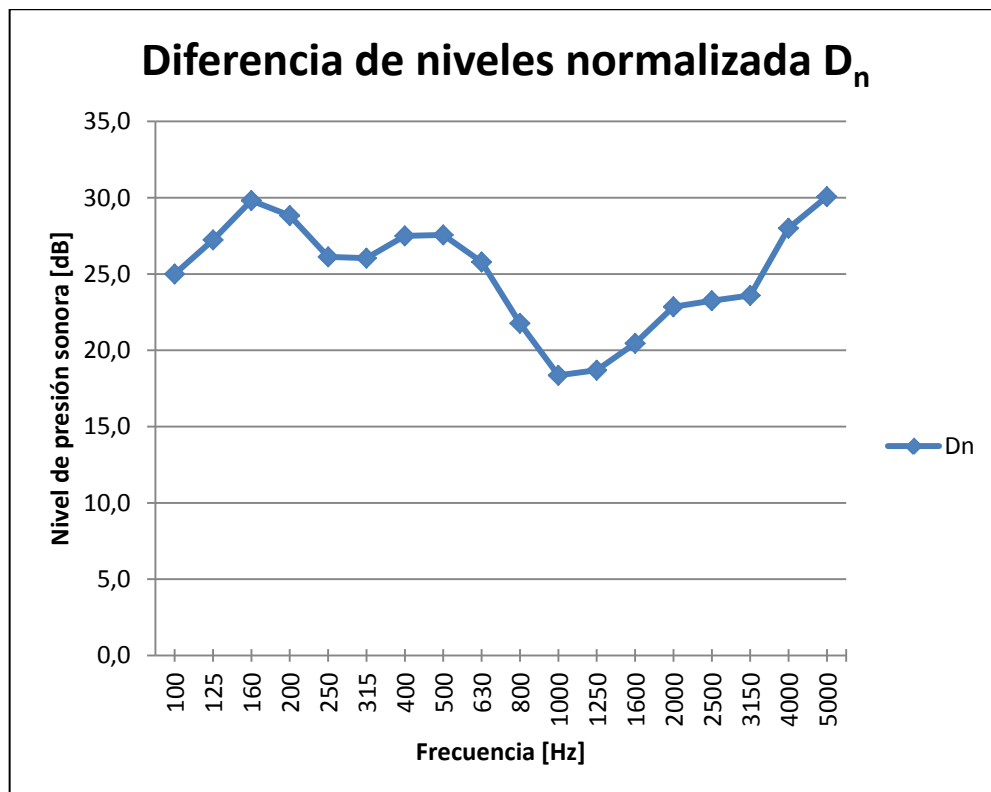
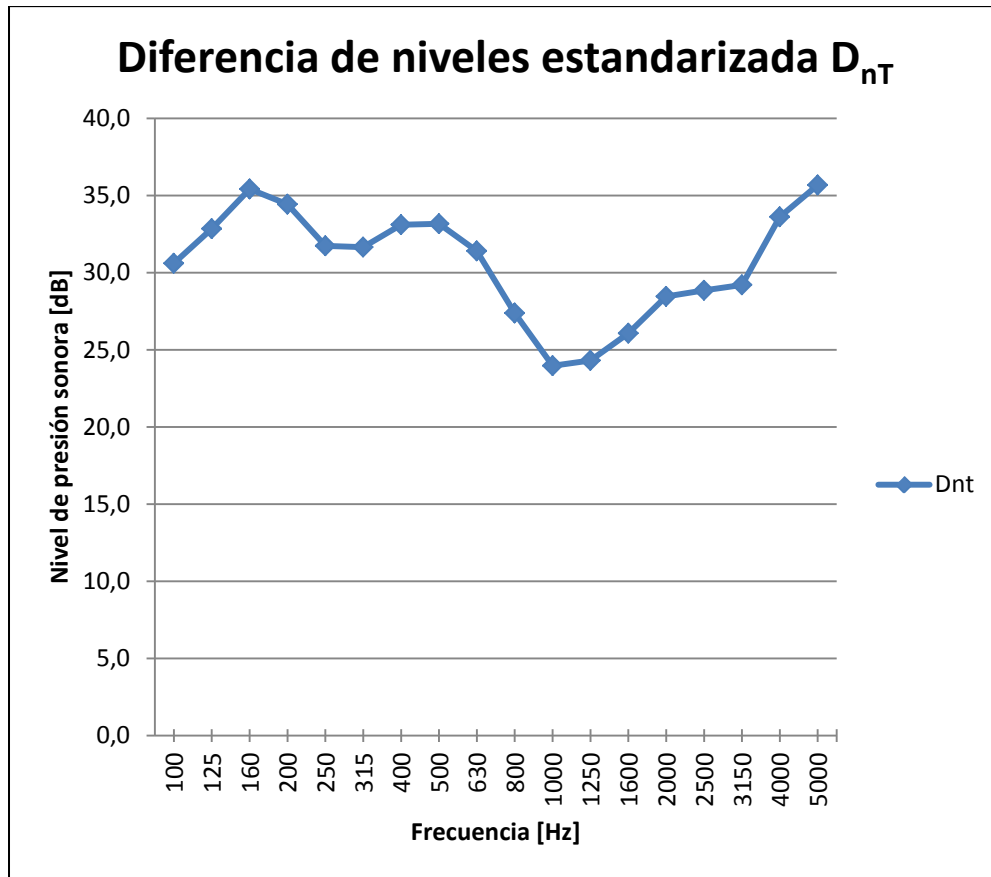
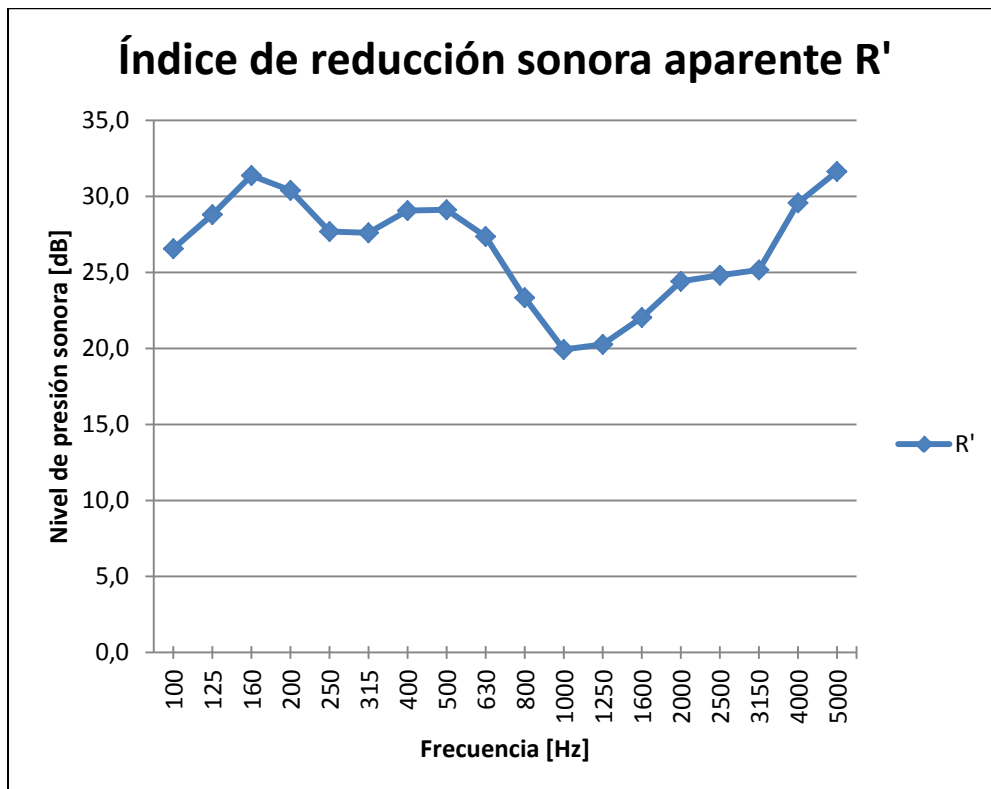


Figura 3.3.18: Diferencia de niveles D.

Figura 3.3.19: Diferencia de niveles normalizada  $D_n$ .

Figura 3.3.20: Diferencia de niveles estandarizada  $D_{nt}$ .Figura 3.3.21: Índice de reducción sonora aparente  $R'$ .



Los valores obtenidos de diferencia de niveles normalizada,  $D_n$ , diferencia de niveles estandarizada,  $D_{nT}$ , e índice de reducción sonora aparente,  $R'$ , son un límite de la medición en la banda de 100 Hz, dado que en dicha banda se ha obtenido que la diferencia entre nivel de ruido de fondo y nivel de señal combinada de ruido de fondo y ruido recibido es menor que 6 dB.

En la medición y en la primera parte de los cálculos se han obtenido los parámetros que determinan el aislamiento acústico que presenta la superficie de separación entre dos recintos. Los resultados obtenidos se han proporcionado en función de la frecuencia. Sin embargo, para tener una idea global del aislamiento que presenta esa superficie, se ha de conseguir expresar todos esos valores en uno.

Para ello se va a aplicar la Norma UNE EN ISO 717-1 [13], la cual se ha explicado en el apartado 3.2.3.2 *Evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo*.

### Índice ponderado de reducción sonora aparente

En primer lugar se calculará la magnitud global  $R'_w$  y a continuación los términos de adaptación espectral.

Tabla 3.3.18: Índice ponderado de reducción sonora aparente.

ÍNDICE PONDERADO DE REDUCCIÓN SONORA APARENTE					
Frecuencias [Hz]	$R'$ [dB]	Curva de referencia [dB]	Curva de referencia- cantidad fija [dB]	Valores de referencia desplazados – $R'$ [dB]	Desviación desfavorable [dB]
100	26,6	33,0	4,0	-22,6	
125	28,8	36,0	7,0	-21,8	
160	31,4	39,0	10,0	-21,4	
200	30,4	42,0	13,0	-17,4	
250	27,7	45,0	16,0	-11,7	
315	27,6	48,0	19,0	-8,6	
400	29,1	51,0	22,0	-7,1	
500	29,1	52,0	<b>23,0</b>	-6,1	
630	27,4	53,0	24,0	-3,4	
800	23,3	54,0	25,0	1,7	1,7
1000	19,9	55,0	26,0	6,1	6,1
1250	20,3	56,0	27,0	6,7	6,7
1600	22,0	56,0	27,0	5,0	5,0
2000	24,4	56,0	27,0	2,6	2,6
2500	24,8	56,0	27,0	2,2	2,2
3150	25,2	56,0	27,0	1,8	1,8

Sumando los términos desfavorables se obtiene 26,1 dB, que es menor que 32 dB.

Se obtiene entonces que  $R'_w = 52 - 29 = 23$  dB.

Para obtener los términos de adaptación espectral  $C$  y  $C_{tr}$  es necesario aplicar la ecuación (3.3.8) y la ecuación (3.3.9). En función de esto se obtiene:

$$C = 0 \text{ dB}$$

$$C_{tr} = 0 \text{ dB}$$

Se pueden calcular además las componentes espectrales para un rango de frecuencias ampliado de 100 Hz a 5000 Hz, utilizando los espectros que se dan en la Tabla 3.3.4.

$$C_{100-5000} = 1 \text{ dB}$$

$$C_{tr, 100-5000} = 0 \text{ dB}$$

Finalmente:

$$R'_w (C; C_{tr}; C_{100-5000}, C_{tr, 100-5000}) = 23 (0; 0; 1; 0) \text{ dB}$$

### Diferencia de niveles normalizada ponderada

En primer lugar se obtendrá la magnitud global  $D_{n,w}$  y a continuación los términos de adaptación espectral.

Tabla 3.3.19: Diferencia de niveles normalizada ponderada.

DIFERENCIA DE NIVELES NORMALIZADA PONDERADA					
Frecuencias [Hz]	$D_n$ [dB]	Curva de referencia [dB]	Curva de referencia- cantidad fija [dB]	Valores de referencia desplazados – $D_n$ [dB]	Desviación desfavorable [dB]
100	25,0	33,0	3,0	-22,0	
125	27,2	36,0	6,0	-21,2	
160	29,8	39,0	9,0	-20,8	
200	28,8	42,0	12,0	-16,8	
250	26,1	45,0	15,0	-11,1	
315	26,0	48,0	18,0	-8,0	
400	27,5	51,0	21,0	-6,5	
500	27,6	52,0	22,0	-5,6	
630	25,8	53,0	23,0	-2,8	
800	21,8	54,0	24,0	2,2	2,2
1000	18,4	55,0	25,0	6,6	6,6
1250	18,7	56,0	26,0	7,3	7,3
1600	20,5	56,0	26,0	5,5	5,5
2000	22,8	56,0	26,0	3,2	3,2
2500	23,2	56,0	26,0	2,8	2,8
3150	23,6	56,0	26,0	2,4	2,4

Sumando los términos desfavorables se obtiene 30,0 dB, que es menor que 32 dB.

Se obtiene entonces que  $D_{n,w} = 52 - 30 = 22$  dB.

Para obtener los términos de adaptación espectral  $C$  y  $C_{tr}$  es necesario aplicar la ecuación (3.3.8) y la ecuación (3.3.9). En función de esto se obtiene:

$$C = 0 \text{ dB}$$

$$C_{tr} = -1 \text{ dB}$$

Se pueden calcular además las componentes espectrales para un rango de frecuencias ampliado de 100 Hz a 5000 Hz, utilizando los espectros que se dan en la Tabla 3.3.4.

$$C_{100-5000} = 0 \text{ dB}$$

$$C_{tr, 100-5000} = -1 \text{ dB}$$

Finalmente:

$$D_{n,w}(C; C_{tr}; C_{100-5000}, C_{tr, 100-5000}) = 22 (0; -1; 0; -1) \text{ dB}$$

### Diferencia de niveles estandarizada ponderada

En primer lugar se obtendrá la magnitud global  $D_{nT,w}$  y a continuación los términos de adaptación espectral.

Tabla 3.3.20: Diferencia de niveles estandarizada ponderada.

DIFERENCIA DE NIVELES ESTANDARIZADA PONDERADA					
Frecuencias [Hz]	$D_{nT}$ [dB]	Curva de referencia [dB]	Curva de referencia-cantidad fija [dB]	Valores de referencia desplazados – $D_{nT}$ [dB]	Desviación desfavorable [dB]
100	30,6	33,0	8,0	-22,6	
125	32,8	36,0	11,0	-21,8	
160	35,4	39,0	14,0	-21,4	
200	34,4	42,0	17,0	-17,4	
250	31,7	45,0	20,0	-11,7	
315	31,7	48,0	23,0	-8,7	
400	33,1	51,0	26,0	-7,1	
500	33,2	52,0	27,0	-6,2	
630	31,4	53,0	28,0	-3,4	
800	27,4	54,0	29,0	1,6	1,6
1000	24,0	55,0	30,0	6,0	6,0
1250	24,3	56,0	31,0	6,7	6,7
1600	26,1	56,0	31,0	4,9	4,9
2000	28,5	56,0	31,0	2,5	2,5
2500	28,9	56,0	31,0	2,1	2,1
3150	29,2	56,0	31,0	1,8	1,8

Sumando los términos desfavorables se obtiene 25,5 dB que es menor que 32 dB.

Se obtiene entonces que  $D_{nT,w} = 52 - 25 = 27 \text{ dB}$ .

Para obtener los términos de adaptación espectral  $C$  y  $C_{tr}$  es necesario aplicar la ecuación (3.3.8) y la ecuación (3.3.9). En función de esto se obtiene:

$$C = 0 \text{ dB}$$

$$C_{tr} = 0 \text{ dB}$$

Se pueden calcular además las componentes espectrales para un rango de frecuencias ampliado de 100 Hz a 5000 Hz, utilizando los espectros que se dan en la Tabla 3.3.4.

$$C_{100-5000} = 1 \text{ dB}$$

$$C_{tr, 100-5000} = 0 \text{ dB}$$

Finalmente:

$$D_{nT, w} (C; C_{tr}; C_{100-5000}, C_{tr, 100-5000}) = 27 (0; 0; 1; 0) \text{ dB}$$

Ahora se debería determinar el valor de repetibilidad y reproducibilidad del ensayo, pero esto no será posible ya que, como se ha especificado en el apartado *3.2.3.3 Determinación, verificación y aplicación de datos de precisión*, para determinar la repetibilidad de los resultados obtenidos es necesario realizar más de un ensayo de medida, y para la reproducibilidad además debe participar en la medición más de un laboratorio.

En este caso, para la medición del aislamiento a ruido aéreo sólo se ha realizado un ensayo de medida, y únicamente se ha utilizado un laboratorio, el de la Escuela de Ingeniería Técnica de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid que se ha descrito anteriormente.

Por lo tanto no será posible determinar la repetibilidad y la reproducibilidad de este ensayo.

### 3.4 Conclusiones

Utilizando el sistema de adquisición NetdB se ha optimizado el proceso de medición, pues este permite conectar cuatro micrófonos, lo cual permite medir simultáneamente en cuatro posiciones fuente – micrófono.

Los valores obtenidos para las magnitudes de aislamiento en función de la frecuencia son un límite de la medición en la banda de 100 Hz.

Las magnitudes globales de aislamiento a ruido aéreo obtenidas son las siguientes:

$$R'_w(C; C_{tr}; C_{100-5000}, C_{tr, 100-5000}) = 23 (0; 0; 1; 0) \text{ dB}$$

$$D_{n,w}(C; C_{tr}; C_{100-5000}, C_{tr, 100-5000}) = 22 (0; -1; 0; -1) \text{ dB}$$

$$D_{nT,w}(C; C_{tr}; C_{100-5000}, C_{tr, 100-5000}) = 27 (0; 0; 1; 0) \text{ dB}$$

No es posible determinar la repetibilidad y la reproducibilidad de los resultados obtenidos en la medición, pues no se cumplen las condiciones necesarias para ello.

# Capítulo 4

Herramienta OneNote 2010

---





## Introducción

OneNote 2010 es una herramienta integrada en el paquete de Microsoft Office 2010.

Es un bloc de notas digital en el que se puede reunir información, que ofrece funciones de búsqueda para acceder a esta información con rapidez. Es un bloc de notas fácil de usar, que permite administrar la información y trabajar junto con otras personas de manera eficaz.

Ofrece la flexibilidad necesaria para reunir y organizar texto, imágenes, escritura digital, grabaciones de audio y vídeo y más, todo en un bloc de notas digital en el equipo, lo que facilita la recopilación, la organización y la búsqueda, además de la posibilidad de compartir las notas y la información de una manera eficaz.

Las funciones de búsqueda pueden ayudar a localizar información a partir de texto en imágenes o de texto oral en grabaciones de audio y vídeo. Además, las herramientas de colaboración permiten a los equipos trabajar juntos con toda la información organizada en blocs de notas compartidos, ya sea en línea o sin conexión.

### 1 Estructura

OneNote 2010 permite organizar la información en diferentes blocs, y así poder tener ésta clasificada por temas. En cada uno de estos blocs se pueden crear distintas secciones, y además dentro de cada sección se pueden crear páginas y subpáginas (hasta tres niveles), lo cual permite organizar y clasificar la información de manera eficaz. Un ejemplo de organización es el que se puede visualizar en la Figura 4.1.1.

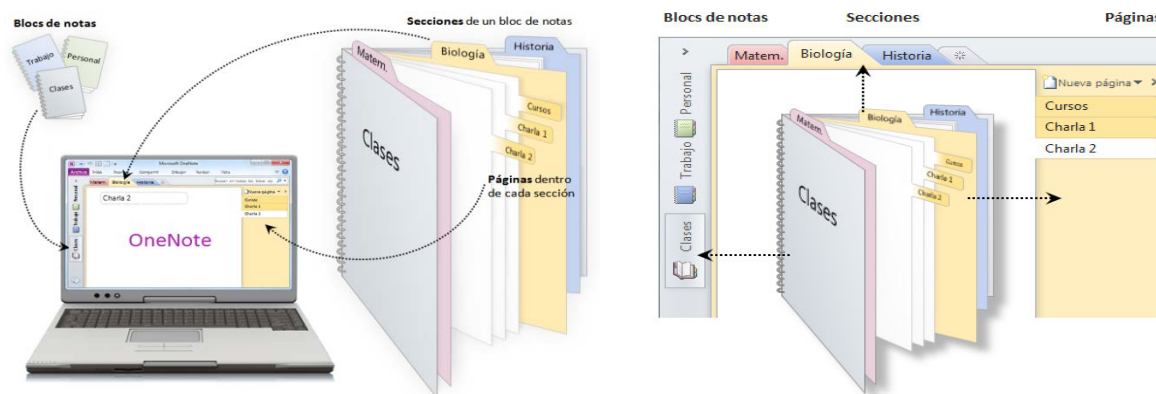


Figura 4.1.1: Ejemplo de organización de la información en OneNote 2010.

## 2 Configuración

Para poder utilizar OneNote 2010 es necesario tener instalado en el ordenador el paquete de Microsoft Office 2010.

### 2.1 Crear un bloc de notas

Para crear un nuevo bloc de notas, en primer lugar se debe abrir la aplicación OneNote 2010. Una vez abierta, en la pestaña *Archivo* se selecciona la opción *Nuevo*. Aparecerá una ventana como la que se muestra en la Figura 4.2.1.

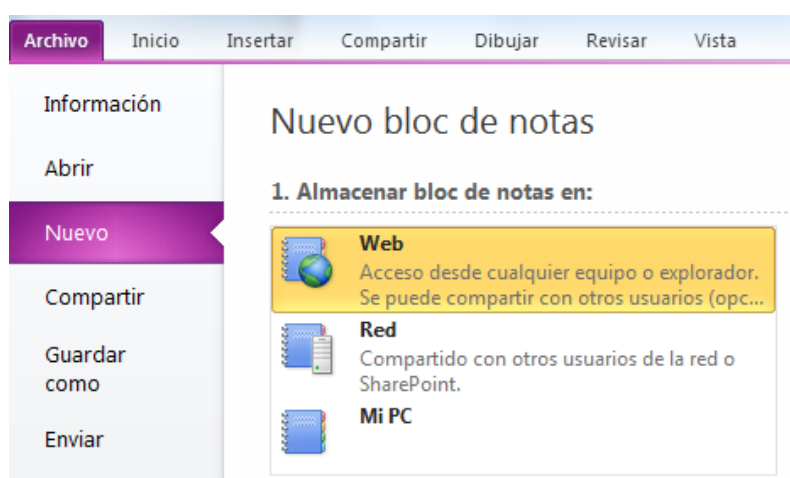


Figura 4.2.1: Nuevo bloc de notas.

Como se puede observar en la Figura 4.2.1, hay tres opciones de almacenamiento de un bloc de notas. A continuación se explicará para qué sirve cada una de estas opciones y cómo se debe configurar en cada caso.




#### 2.1.1 Almacenamiento en “Web”

Si hay conexión a internet, cuando se almacena un bloc de notas en la web se puede acceder a él desde cualquier equipo o explorador, desde la dirección [www.skydrive.com](http://www.skydrive.com). Para ello es necesario tener una cuenta de Microsoft.

Cuando se selecciona la opción *Web* aparecen los campos a rellenar que se muestran en la Figura 4.2.2.

## Nuevo bloc de notas

### 1. Almacenar bloc de notas en:

	<b>Web</b> Acceso desde cualquier equipo o explorador. Se puede compartir con otros usuarios (opc...)
	<b>Red</b> Compartido con otros usuarios de la red o SharePoint.
	<b>Mi PC</b>

### 2. Nombre:

### 3. Ubicación web:

[Windows Live](#)

Inicie la sesión con: Windows Live ID (Hotmail/Messenger/Xbox LIVE)

[Registrarse para Windows Live](#)

Figura 4.2.2: Almacenamiento de un bloc de notas en la web.

En el campo 2. *Nombre* se debe escribir el nombre que el usuario quiera para el bloc de notas.

El campo 3. *Ubicación web* sirve para indicar en qué cuenta se quiere almacenar el bloc de notas.

Si no se posee una cuenta en Microsoft, haciendo clic en la opción *Registrarse para Windows Live* se abre la ventana en el explorador de internet desde la que se puede crear una cuenta en Microsoft. Esta cuenta puede estar asociada a los portales que se muestran en la Figura 4.2.3.

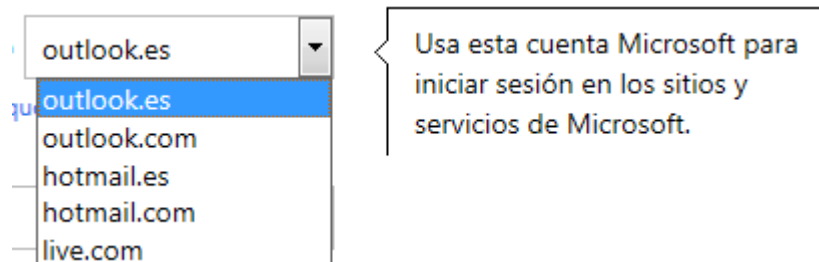


Figura 4.2.3: Portales disponibles para cuentas de Microsoft.

Una vez que se dispone de una cuenta de Microsoft, se hace clic en el botón *Iniciar sesión* y OneNote 2010 pedirá los credenciales.

Cuando se establezca la conexión con el servidor, aparecerán dos opciones de almacenamiento, que se muestran en la Figura 4.2.4.

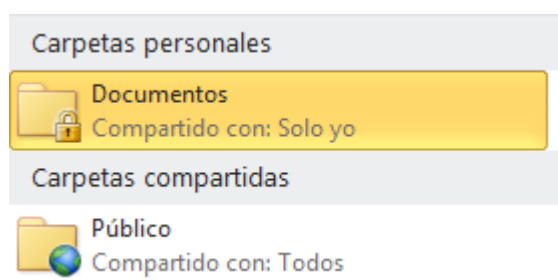


Figura 4.2.4: Carpetas en las que se puede almacenar el bloc de notas en web.

Si se elige la carpeta *Documentos*, el acceso estará restringido al usuario. Por el contrario, si se elige la carpeta *Público*, cualquier persona puede buscar y ver los archivos públicos, incluso si no se comparte el vínculo.

Una vez se elige la carpeta en la que se quiere guardar, aparecerá resaltado el botón *Crear Bloc de notas*. Pulsando en él se creará el nuevo bloc de notas con el nombre elegido por el usuario, y se podrá modificar tanto en OneNote 2010 como en la dirección [www.skydrive.com](http://www.skydrive.com), iniciando sesión con la cuenta Microsoft. Además será posible desde dicha página abrir el bloc de notas en OneNote 2010, siempre y cuando esté instalado en el ordenador el paquete de Microsoft Office 2010. Se debe destacar que las opciones de edición desde la página web están limitadas respecto a las opciones que ofrece OneNote.

### 2.1.2 Almacenamiento en “Red”

Cuando se almacena un bloc de notas en la *red*, éste se comparte automáticamente con los usuarios de esa red o *SharePoint*<sup>9</sup>. Si se selecciona esta opción aparecen los campos que se muestran en la Figura 4.2.5.

Nuevo bloc de notas

1. Almacenar bloc de notas en:

	<b>Web</b> Acceso desde cualquier equipo o explorador. Se puede compartir con otros usuarios (opc...)
	<b>Red</b> Compartido con otros usuarios de la red o SharePoint.
	<b>Mi PC</b>

2. Nombre:

3. Ubicación de red:

Figura 4.2.5: Almacenamiento de un bloc de notas en *red*.

<sup>9</sup> Es una plataforma de colaboración empresarial.

En el campo 2. *Nombre* se introduce el nombre que el usuario quiera ponerle al bloc de notas.

En el campo 3. *Ubicación de red* se introduce la dirección de la red en la que se quiere compartir el bloc de notas. Se ha de tener en cuenta que cualquier usuario con permisos en esta ubicación de red o sitio de SharePoint podrá tener acceso al bloc de notas.

Una vez se ha introducido correctamente la dirección de la red en la que se quiere compartir el bloc de notas, aparecerá resaltado el botón *Crear Bloc de notas*. Haciendo clic en él se creará el bloc de notas compartido en red.

### 2.1.3 Almacenamiento en “Mi PC”

Cuando se almacena un bloc de notas en *Mi PC* solo tendrá acceso al bloc de notas el usuario, y éste se almacenará en la dirección del ordenador que el usuario elija. Seleccionando la opción *Mi PC* aparecen los campos que se muestran en la Figura 4.2.6.

1. Almacenar bloc de notas en:

**Web**  
Acceso desde cualquier equipo o explorador.  
Se puede compartir con otros usuarios (opc...

**Red**  
Compartido con otros usuarios de la red o  
SharePoint.

**Mi PC**

2. Nombre:

3. Ubicación:

Examinar

Figura 4.2.6: Almacenamiento de un bloc de notas en el ordenador.

En el campo 2. *Nombre* se introduce el nombre del bloc de notas que el usuario determine.

En el campo 3. *Ubicación* se introduce la ubicación del lugar en el que se quiera almacenar el bloc de notas.

Una vez se ha introducido el nombre y la ubicación que se desea para el bloc de notas, aparecerá resaltado el botón *Crear Bloc de notas*. Haciendo clic en él se creará el bloc de notas en el ordenador en la dirección especificada por el usuario.

## 2.2 Compartir un bloc de notas

Es necesario diferenciar cuando un bloc de notas se encuentra almacenado en una ubicación compartida y cuando no.

### 2.2.1 Ubicación compartida

Los blocs de notas guardados en una ubicación compartida se comparten automáticamente con los usuarios que tengan acceso a la ubicación. Se pueden editar los blocs de notas compartidos simultáneamente con cualquier usuario que tenga acceso a ese bloc de notas.

Para compartir un bloc de notas que está almacenado en la *web* es necesario seguir los siguientes pasos:

- Iniciar sesión con una cuenta Microsoft en [www.skydrive.com](http://www.skydrive.com).
- Acceder a la carpeta en la que se encuentra el bloc de notas que se desea compartir y abrirlo.
- En la página principal del bloc de notas, seleccionar la pestaña *Archivo* de la barra de herramientas, y en las opciones que aparecen a la derecha seleccionar la pestaña *Compartir*. Aparecerá la opción *Compartir con otras personas*.
- Haciendo clic en la opción *Compartir con otras personas* aparece el cuadro de diálogo que aparece en la Figura 4.2.7.



Figura 4.2.7: Opciones para compartir un bloc de notas.

Se puede observar como aparecen distintas opciones. A continuación se detalla para qué sirve cada una de ellas:

### 2.2.1.1 “Enviar correo electrónico”

Mediante esta opción se concede permiso a personas o grupos de personas para acceder a un archivo. Esta opción permite eliminar dicho permiso más adelante, si fuera necesario. Cuando los destinatarios vean su SkyDrive, el archivo aparecerá en la lista de archivos compartidos. El cuadro de diálogo que aparece al seleccionar *Enviar correo electrónico* es el que se muestra en la Figura 4.1.8.

Enviar un vínculo a "Compartido" por correo electrónico

Para

Incluir un mensaje personal (opcional)

☒ Los destinatarios pueden editar

☐ Requerir el inicio de sesión para acceder

Compartir Cerrar

Figura 4.2.8: Enviar un vínculo por correo electrónico.

En la pestaña *Enviar correo electrónico*, se deben agregar las direcciones de correo electrónico de los usuarios con los que se desea compartir el bloc de notas.

Se puede agregar un mensaje opcional.

Si se desea que los destinatarios puedan editar el archivo, se debe seleccionar la opción *Los destinatarios pueden editar*. Los destinatarios podrán reenviar este vínculo, y cualquiera que lo reciba también podrá editar el archivo. El nombre de las personas que lo editen se muestra en *Compartir*, en la vista de detalles de dicho archivo.

Si se desea que los destinatarios inicien sesión con una cuenta de Microsoft antes de que puedan ver el archivo, seleccionar *Requerir el inicio de sesión para tener acceso*. Esta opción ayuda a evitar que otras personas que hayan recibido el correo electrónico reenviado puedan tener acceso al archivo.

Hacer clic en *Compartir* para guardar la configuración de permisos y enviar el correo electrónico con el vínculo.

### 2.2.1.2 “Publicar en”

Se elige esta opción para publicar un vínculo en un servicio de redes sociales conectado a la cuenta de Microsoft del usuario. Se abrirá el cuadro de diálogo que aparece en la Figura 4.2.9.

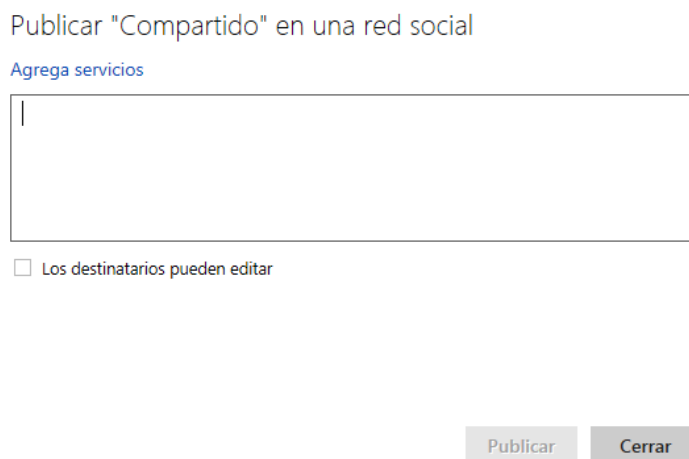


Figura 4.2.9: Publicar en una red social

Seleccionar un servicio para publicar en él. También se puede agregar uno haciendo clic en *Agregar servicios*: hacer clic en *Buscar más servicios* y seguir las indicaciones que aparecen para agregar un servicio que no aparezca en la lista.

Se puede agregar un mensaje que acompañe a la publicación.

Si se desea que las personas de una red social puedan editar el archivo que se quiere compartir, seleccionar *Los destinatarios pueden editar*.

Hacer clic en *Publicar*. La entrada se publicará en el sitio que haya sido elegido junto con un mensaje, si se ha incluido uno, y un vínculo al archivo.



### 2.2.1.3 “Obtener un vínculo”

Esta opción sirve para compartir un archivo o carpeta con un gran número de personas. El cuadro de diálogo que se abre al seleccionar esta opción es el que aparece en la Figura 4.2.10.

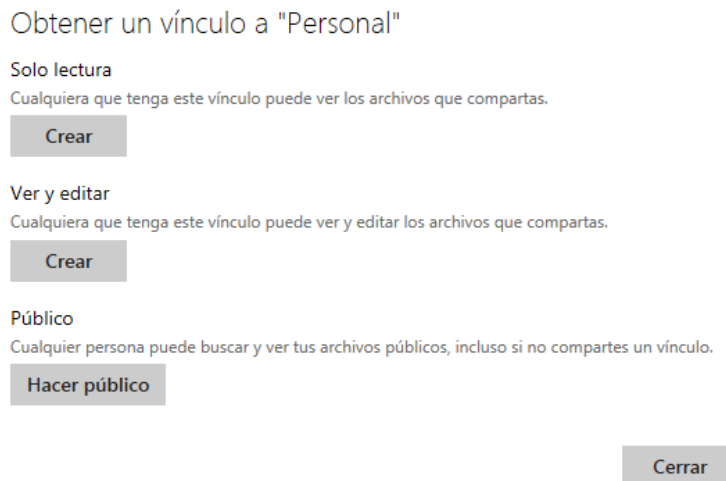


Figura 4.2.10: Obtener un vínculo.

Elegir el tipo de vínculo deseado. Los permisos del archivo o carpeta se actualizan automáticamente cuando se obtiene el vínculo.

- **Solo lectura:** las personas con este vínculo solamente pueden ver el archivo. Cualquier persona que tenga este vínculo puede reenviarlo, de modo que es posible que tengan acceso al archivo personas con las que no se tenía previsto compartirlo.
- **Ver y editar:** las personas que tengan este vínculo pueden ver y editar el archivo. Cualquier persona que tenga este vínculo puede reenviarlo y cualquiera que lo reciba también podrá editar el archivo.
- **Público:** un vínculo público es como un vínculo de solo lectura, solo que también permite a todo el mundo buscar el archivo. Si se selecciona esta opción, todo el mundo podrá tener acceso al archivo, aunque no se publique el vínculo que se obtiene.

Si se desea incluir el vínculo en un mensaje con un número limitado de caracteres, haciendo clic en *Acortar* se obtiene acortada la dirección URL.

### 2.2.2 Ubicación no compartida

Cuando se crea un bloc de notas y se almacena en *Mi PC* únicamente el usuario tiene acceso a él. Si se está trabajando en una red, para compartir la carpeta en la que está ubicado el bloc de notas se deben especificar los permisos de acceso a las personas de esa red. Para ello es necesario seguir los pasos que se detallan a continuación:

- Haciendo clic con el botón derecho en la carpeta que se desea compartir aparece un cuadro de diálogo. En él se debe seleccionar la opción *Propiedades*, y en la ventana que se abre seleccionar la pestaña *Compartir*.
- En la ventana que se abre cuando se selecciona *Compartir*, hacer clic en *Permisos*. Cuando OneNote crea un bloc de notas compartido, automáticamente se especifica que el creador es el propietario de la carpeta compartida. No se deben modificar las entradas que aparecen por defecto en la lista *Permisos*.
- Hacer clic en *Agregar*. Aquí se deben especificar a qué personas se desea permitir el acceso al bloc de notas. Se pueden escribir nombres completos, nombres de usuario o direcciones de correo electrónico. Los usuarios que se agreguen a la lista *Permisos* deben estar en la misma red que el equipo.
- Hacer clic en *Comprobar nombres* para comprobar los datos especificados en la red y, a continuación, hacer clic en *Aceptar*.
- En la pestaña *Permisos*, seleccionar cada nombre de usuario de la lista haciendo clic en él y, después especificar los permisos que correspondan al usuario seleccionado.
- Hacer clic en *Aplicar* para guardar los permisos del usuario seleccionado antes de pasar al siguiente. Cuando se terminen de establecer los permisos, hacer clic en *Aceptar*.
- Si aparece la ficha *Seguridad* en el cuadro de diálogo *Permisos*, significa que el equipo está conectado a una red que tiene un controlador de dominio. Para poder compartir la carpeta de un bloc de notas en este tipo de redes, se deberán repetir los pasos anteriores y establecer los mismos permisos en la ficha *Seguridad* que se han establecido previamente en la ficha *Compartir*. Si no aparece ninguna ficha *Seguridad*, hacer clic en *Aceptar* para cerrar la ventana *Propiedades* de la carpeta.

- Una vez establecidos los permisos de acceso a la carpeta compartida se pueden enviar correos electrónicos a los usuarios con permiso. Si se dispone de Microsoft Office Outlook y si se seleccionó la opción de correo electrónico en el asistente para nuevo bloc de notas cuando se creó el bloc de notas compartido, OneNote mostrará un mensaje de correo electrónico que se podrá personalizar antes de ser enviado. Si no se seleccionó la opción de correo electrónico en el asistente, o si se desea enviar mensajes a aquellas personas que se vayan a incluir más adelante en la lista Permisos, es necesario hacer lo siguiente:
  - o En OneNote, en el menú *Compartir*, hacer clic en *Enviar vínculo de bloc de notas compartido a otras personas*.
  - o Indicar los destinatarios en los cuadros *Para*, *CC* y *CCO*.
  - o Personalizar el título que aparece en *Asunto* y el texto del mensaje, si es necesario, y después hacer clic en *Enviar*.

Una vez se ha compartido un bloc de notas, cada vez que un usuario con permiso lo modifique se sincronizará el cambio automáticamente, de manera que el resto de usuarios con permiso pueden visualizar la modificación casi a tiempo real. Aunque OneNote sincronizará automáticamente las carpetas periódicamente, a veces es necesario sincronizarlas manualmente.

OneNote mantiene sin conexión una copia de las notas en el equipo de cada usuario. De este modo, los usuarios con los que está compartido el bloc de notas pueden seguir editando las notas de forma local aunque se encuentren desconectados temporalmente de la red. Una vez que se conecten al bloc de notas compartido, se combinarán automáticamente los cambios realizados por todos los usuarios.

### 3 Utilidades

Entre las opciones que ofrece la herramienta OneNote 2010 cabe destacar por su utilidad las siguientes:

- Crear una nota al margen con rapidez, independientemente del programa en el que se esté trabajando, y las notas que se tomen se guardarán automáticamente en OneNote donde podrán ser archivadas o buscadas más adelante.
- Insertar recortes de pantalla desde otras ventanas abiertas. OneNote inserta la captura de pantalla en la página junto con una marca de fecha y hora que muestra cuándo se tomó la captura. Si se toma una captura de pantalla de una página web, también incluye automáticamente el título de la página y la dirección web.
- Enviar una copia del contenido desde prácticamente cualquier programa a OneNote mediante la impresora virtual *Enviar a OneNote*.
- Insertar copias impresas digitales de archivos, fotografías y grabaciones de audio y vídeo. Al buscar palabras clave, busca el texto en los archivos enviados a OneNote, copias impresas digitales, capturas de pantalla, imágenes insertadas desde archivos y pistas de audio de archivos de audio y vídeo.
- Grabar audio o vídeo desde OneNote<sup>10</sup>.
- Si se usa un dispositivo Tablet PC u otro dispositivo habilitado para entrada de lápiz, se puede usar OneNote como un bloc de notas tradicional y escribir con entrada de lápiz digital, ya que reconoce la escritura a mano para que se puedan buscar las notas con entrada de lápiz como texto y permite convertir la entrada de lápiz en texto con un solo clic.

Dado que OneNote guarda e indiza el contenido automáticamente a medida que se agrega a los blocs de notas, la búsqueda en las notas es prácticamente instantánea. Proporciona una gran cantidad de características que facilitan la tarea de organizar y obtener acceso a la información. Por ejemplo:

---

<sup>10</sup> Disponible en equipos que incluyen o están conectados a dispositivos de grabación de vídeo o audio adecuados.

- Permite marcar las notas con etiquetas de nota, como Tareas pendientes, Importante, Pregunta o Idea. Las etiquetas son las que se muestran en la Figura 4.3.1.

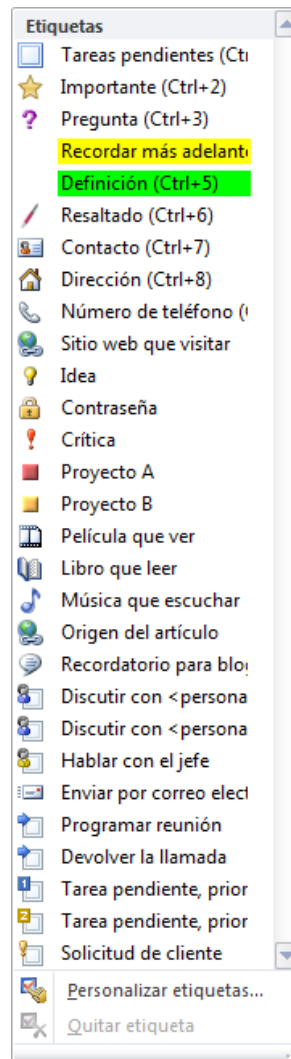


Figura 4.3.1: Etiquetas para la marcación de notas.

Cuando se aplique una etiqueta, aparecerá un icono junto a la nota. Además permite crear o personalizar etiquetas y buscar las notas etiquetadas. Incluso se pueden usar las etiquetas de forma interactiva, como por ejemplo, colocando una marca de verificación en la etiqueta *Tareas pendientes* una vez completada la tarea.

- Crear tareas de Microsoft Outlook a partir de notas de OneNote. O bien, insertar detalles del calendario de Outlook en las notas para agrupar la información.

OneNote 2010 admite la edición simultánea de blocs de notas por parte de varios usuarios. Esta función es útil para los grupos y equipos que comparten un bloc de notas. En un bloc de notas compartido, OneNote 2010 ofrece las siguientes utilidades:

- Resaltado de notas no leídas

El contenido nuevo en un bloc de notas compartido que otra persona del grupo o del equipo agregó o cambió desde la última vez que lo vio queda resaltado automáticamente para que el usuario pueda ver de manera rápida qué información es nueva. Se muestran en negrita los mosaicos de blocs de notas, las pestañas de secciones y las pestañas de páginas con contenido nuevo para que pueda navegar rápidamente hasta ellos.

- Creación de la información

El contenido agregado o modificado por otra persona en un bloc de notas compartido se indica con una pequeña barra con código por colores que contiene las iniciales del autor.

- Compatibilidad con control de versiones

Puede mostrar rápidamente versiones anteriores de una página, quién la escribió y cuándo lo hizo. Los cambios relacionados con versiones anteriores de una página se resaltan de manera automática.

- Sincronización más rápida de páginas

Cuando varias personas trabajan en la misma página, la sincronización de dicha página se acelera de modo que los cambios estén visibles para todos los autores en tiempo casi real.

## 4 OneNote 2010 en otros dispositivos

Siempre se tendrán las notas disponibles cuando se usen las aplicaciones de OneNote Mobile en dispositivos móviles que tengan los sistemas operativos Windows Phone, iOS o Android.

- En un dispositivo móvil con sistema operativo Windows Phone 7, se puede usar Microsoft Office Mobile 2010 para trabajar con las notas desde cualquier parte. OneNote Mobile 2010 es parte de Office Mobile y se encuentra en el teléfono, en el Office Hub, por lo que no es necesario descargar ni instalar nada más para comenzar a usarlo.

Se puede usar la aplicación para crear o actualizar notas usando muchas de las herramientas de la versión de escritorio de OneNote, como insertar memorandos de voz e imágenes en las notas, ver notas y ubicar páginas específicas en un bloc de notas, crear listas, y abrir y editar blocs de notas almacenados en un sitio de SharePoint. También se pueden agregar notas a un bloc creado y sincronizado con Windows Live SkyDrive.

- En un dispositivo móvil con sistema operativo iOS o Android las opciones que permite realizar la aplicación de OneNote están más limitadas respecto a las opciones que ofrece la aplicación en un dispositivo con sistema operativo Windows Phone 7.

Permite acceder a los blocs de notas que se tienen almacenados en la web Windows Live SkyDrive, y en ellos crear nuevas páginas o modificar los contenidos existentes en éstas. Se permite la inserción o eliminación de texto, añadir fotos (almacenadas en el dispositivo móvil o realizadas en el momento) y la inserción de la etiqueta *Tarea pendiente*.

También permite la creación de notas sin necesidad de vincularlas a un bloc de notas ya existente, llamadas *Notas rápidas*, y éstas se sincronizarán automáticamente con Windows Live Skydrive, almacenándose todas las notas de este tipo en un bloc que se llamará *Personal (web)*, en una sección llamada *Notas sin archivar*.

## 5 Aplicación de OneNote 2010 al proceso enseñanza – aprendizaje

Según lo expuesto anteriormente, se puede considerar que OneNote 2010 es una herramienta que puede ser de utilidad en el proceso enseñanza – aprendizaje, tanto para el alumno y el profesor de manera individual como de manera conjunta.

El alumno podría almacenar toda la información que se proporcione en las distintas asignaturas, por ejemplo creando un bloc de notas cuyo nombre sea *Universidad* y cuyas secciones sean los diferentes cursos. En cada una de estas secciones el alumno podría introducir páginas correspondientes a las distintas asignaturas, y en cada una de estas páginas crear dos subpáginas asociadas, para teoría y laboratorio. De esta manera tendría toda la información proporcionada en las asignaturas estructurada y organizada dentro de un mismo bloc de notas, y podría acceder a ella desde cualquier ordenador con conexión a internet si ha almacenado el bloc de notas en la web, o desde su propio ordenador si ha almacenado el bloc de notas en su PC. Además podría añadir sus propias prácticas, comentarios aclaratorios, sitios web que podría visitar, un calendario con las fechas de las entregas y de los exámenes, entre otras muchas posibilidades que ofrece la herramienta OneNote 2010. Si el alumno lo considerara oportuno, podría compartir su bloc de notas con otros compañeros y así poder trabajar de manera conjunta.

De igual modo, el profesor podría tener toda la información de las clases que imparte, estructurada de un modo similar al que se ha propuesto para el alumno.

De manera conjunta, el profesor de una determinada asignatura podría compartir un bloc de notas con los alumnos matriculados en dicha asignatura, y así éstos podrían acceder casi a tiempo real a los contenidos que el profesor vaya cargando en el bloc de notas, que podrían ser apuntes en formato digital, sitios web interesantes, gráficos, tablas, etc. Todo ello de una manera estructurada y organizada, de fácil acceso y localización para el alumno. Para que los alumnos no pudieran modificar el contenido del bloc de notas a su antojo, OneNote 2010 ofrece la posibilidad de otorgar distintos permisos a los usuarios con los que el creador comparte el bloc de notas. De esta manera podría darles permiso de lectura, en lugar de permiso de lectura y escritura, y así los alumnos únicamente podrían leer el contenido del bloc de notas, y éste ser modificado únicamente por el profesor.



El principal inconveniente que presenta esta propuesta es que, como se ha mencionado anteriormente, para poder trabajar con OneNote 2010 desde cualquier equipo de manera conjunta, es decir, en un bloc de notas compartido siempre que haya conexión a internet, es necesario poseer una cuenta de Microsoft. Lo ideal sería que funcionase con, por ejemplo, la cuenta de correo de la universidad. Así el profesor dispondría de los correos de los alumnos desde el primer momento, y no sería necesario que los alumnos le proporcionaran una cuenta de Microsoft.

Otro de los inconvenientes que presenta es que para poder acceder desde cualquier ordenador es necesaria la conexión a internet, lo cual no siempre es posible.



# Capítulo 5

## Conclusiones

---



## 1 Conclusiones generales del proyecto

### 1.1 Sistema de adquisición NetdB

Tras el estudio realizado, se puede determinar que el sistema de adquisición NetdB es una plataforma útil que se puede utilizar en la realización de medidas de acústica arquitectónica.

En la actualidad, en el laboratorio de la asignatura Acústica Arquitectónica que se imparte en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación en el campus sur de la Universidad Politécnica de Madrid se utiliza como plataforma para la realización de algunas de las medidas el sistema de adquisición Symphonie.

El sistema NetdB ofrece algunas comodidades que el sistema Symphonie no puede proporcionar, como es el mayor número de canales de entrada disponibles en NetdB, lo cual hace que se puedan tener más transductores conectados y funcionando simultáneamente. Esto reduce el tiempo a invertir en la realización de las medidas, pues en una sola medida se pueden registrar los niveles de presión sonora en varias posiciones del recinto de manera simultánea.

Sin embargo, en la actualidad, el uso del sistema NetdB en el laboratorio de Acústica Arquitectónica tiene un inconveniente, pues aún no está instalado el software de emisión dBRTA, por lo que las medidas no se pueden realizar de una manera automatizada. La solución adoptada ante este problema fue utilizar el generador dBGene existente en el paquete dBFA de 01 dB –Metravib, y emitir a través de la tarjeta de sonido del ordenador. Esta solución tiene algunas carencias en comparación con la emisión desde el propio sistema NetdB, pues no contempla la posibilidad de automatizar el comienzo y la finalización de la emisión de la señal, entre otras cosas, pero es una solución que, a efectos de medición, es válida, aunque obligue a prescindir de algunas comodidades.

Por ello se puede concluir que el sistema de adquisición NetdB es una plataforma que puede sustituir a Symphonie en la realización de las medidas del laboratorio de Acústica Arquitectónica, pues reduce el tiempo invertido en la realización de las medidas dado el número de canales de entrada que admite, aunque, en la actualidad, obligue a utilizar un generador independiente para la emisión.

## 1.2 Herramienta OneNote 2010

Tras lo expuesto en el *Capítulo 4* se puede concluir lo siguiente:

OneNote 2010 es una herramienta que permite la organización de la información de una manera clara y eficaz, ofreciendo diversas posibilidades que facilitan al usuario la búsqueda y el acceso a dicha información.

Ofrece la posibilidad de almacenar los blocs de notas en la web SkyDrive para poder acceder a ellos desde cualquier ordenador con conexión a internet, en una red local para que todos los equipos que estén en esa red puedan acceder al bloc de notas o en el equipo del usuario. Además permite compartir el bloc de notas con otros usuarios para trabajar de manera conjunta.

Existe la aplicación de OneNote para casi todos los dispositivos móviles con distintos sistemas operativos, exceptuando BlackBerry. Las opciones que ofrecen estas aplicaciones son muy limitadas respecto a las que ofrece la herramienta OneNote 2010, no obstante permiten realizar funciones básicas de visionado, edición de texto e inserción de imágenes.

Sería una herramienta útil en el proceso enseñanza – aprendizaje, pero tiene algunas incomodidades como que para acceder desde cualquier equipo se requiere una cuenta Microsoft y conexión a Internet.

## 2 Ampliaciones al proyecto

En este proyecto se estudia el empleo del sistema de adquisición NetdB en la realización de medidas de Acústica Arquitectónica. A parte de los fundamentos teóricos básicos que se ofrecen en la primera parte, se realizan una serie de medidas que corroboran este uso. Aunque su manejo haya quedado debidamente definido, se sugiere una ampliación a este estudio:

Una vez se instale el software de emisión dBRTA que se ha citado anteriormente, se pueden repetir las medidas de una forma automatizada.

El software dBbati contiene una opción llamada *cálculos estándar*. Esta opción permite calcular, entre otras cosas:

- El área de absorción sonora de un material y el coeficiente de absorción sonora, si se proporcionan las dimensiones del recinto en el que se esté midiendo y los datos de tiempo de reverberación que genera el software.
- El índice de reducción sonora y el índice de reducción sonora aparente, siempre y cuando se proporcionen las dimensiones de los recintos en los que se ha realizado la medida, y los datos de emisión, recepción y tiempo de reverberación que el sistema de adquisición haya registrado.

El programa realiza estos cálculos basándose en la normativa referente a ellos.

Por otro lado, dBbati permite la generación automática de informes. Es posible generarlos para todos los resultados producidos por cálculos normativos. Los informes suministrados por dBbati corresponden a los definidos en las normas correspondientes.

En este proyecto esta opción no se ha contemplado, pues se creyó más conveniente realizar dichos cálculos empleando las fórmulas que se proporcionan en las normas, y así seguir el proceso habitual que sigue un alumno al realizar las prácticas del laboratorio de Acústica Arquitectónica.

Es por esto que una posible ampliación podría ser la realización automática de estos cálculos con el programa, y así poder comparar los resultados que se obtengan con los obtenidos en la realización de los cálculos de manera manual, y generar los informes de manera automática tal y como especifica la normativa.

### **3 Líneas de investigación**

En la actualidad existe una nueva versión de la Norma UNE-EN ISO 717-1, de Junio de 2013, la cual no se contempla en este proyecto dado que cuando se hicieron las medidas relacionadas a esta Norma no estaba publicada.

También existe una nueva versión de la herramienta OneNote, que está incluida en el paquete de Microsoft Office 2013.



## Referencias

- [1] Kuttruff, H., “Acoustics, An introduction”, Taylor & Francis Group, London & New York, 2007.
- [2] [www.isover.net](http://www.isover.net)
- [3] [www.hispasonic.com](http://www.hispasonic.com)
- [4] [www.ingenieriaacusticafacil.com](http://www.ingenieriaacusticafacil.com)
- [5] [www.scielo.br](http://www.scielo.br)
- [6] de Castro, S., “Absorbentes afinados de graves”, SAE Technological Group, 2007.
- [7] Documento Básico HR Protección frente al ruido.
- [8] Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido.
- [9] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Medición de parámetros acústicos en recintos - Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. UNE-EN ISO 3382-2. AENOR, Madrid, 2008.
- [10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. ISO 9613-1, 1993.

- [11] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Medición de la absorción acústica en cámara reverberante. UNE-EN ISO 354. AENOR, Madrid, 2004.
  
- [12] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción - Parte 4: Medición "*in situ*" del aislamiento al ruido aéreo entre locales. UNE-EN ISO 140-4. AENOR, Madrid, 1999.
  
- [13] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción - Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. UNE-EN ISO 717-1. AENOR, Madrid, 1997.
  
- [14] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción - Parte 2: Determinación, verificación y aplicación de datos de precisión. UNE-EN 20140-2. AENOR, Madrid, 1994.

# Bibliografía

Libros Publicaciones Normativa Web

---



## Libros

- Gil, C., Sánchez, J., Sancho, J., “Prácticas de Acústica Arquitectónica”. Departamento de Publicaciones de la EUIT de Telecomunicación, Madrid, 1º Edición, 2009.
- Recuero M., Gil C., “Acústica Arquitectónica”. Distribuidor Paraninfo. Madrid, 1992.
- Cremer, L., Muller, H., “Principles and Applications of Room Acoustics”, Applied Science Publishers, 1982.
- Kuttruff, H., “Room Acoustics”. Elsevier Applied Science, 1991.
- Úlin Nabatov, V., “Acústica”. Departamento de Publicaciones de la EUIT de Telecomunicación, Madrid, 5ª impresión, 2004.
- Carrión Isbert A., “Diseño acústico de espacios arquitectónicos”. Ediciones UPC, 1998.
- Díaz Sanchidrián, C., “El aislamiento acústico”, Departamento de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid, 2010.
- Kuttruff, H., “Acoustics, An introduction”, Tailor & Francis Group, London & New York, 2007.

## Publicaciones

- Brüel & Kjaer, “Measurements in Building Acoustic”, 1988.
- Brüel & Kjaer, “Room acoustics”, 1988.
- de Castro, S., “Absorbentes afinados de graves”, SAE Technological Group, 2007.
- San Martín, J., “Acústica arquitectónica para salas de grabación”.
- Sánchez, J., “Materiales”, Madrid, 2010.
- Juliá Sanchís, E., “Modelización, simulación y caracterización acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica”, Universidad Politécnica de Valencia, Alcoy, 2008.

## Normativa / Manuales

- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Medición de parámetros acústicos en recintos - Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. UNE-EN ISO 3382-2. AENOR, Madrid, 2008.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Medición de la absorción acústica en cámara reverberante. UNE-EN ISO 354. AENOR, Madrid, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. ISO 9613-1, 1993.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción - Parte 4: Medición "*in situ*" del aislamiento al ruido aéreo entre locales. UNE-EN ISO 140-4. AENOR, Madrid, 1999.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción - Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. UNE-EN ISO 717-1. AENOR, Madrid, 1997.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Acústica - Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción - Parte 2: Determinación, verificación y aplicación de datos de precisión. UNE-EN 20140-2. AENOR, Madrid, 1994.

- NetdB Acquisition Unit, User Manual. Areva, 01dB –Metravib.
- dBBATI32 Building Acoustics, User Manual. Areva, 01dB –Metravib.

## Páginas web

- [www.acustica.com.bo/](http://www.acustica.com.bo/)
- [www.acusticaweb.com](http://www.acusticaweb.com)
- [www.alava-ing.es/soluciones-tecnologia/](http://www.alava-ing.es/soluciones-tecnologia/)
- [www.hispasonic.com](http://www.hispasonic.com)
- [www.ingenieriaacusticafacil.com](http://www.ingenieriaacusticafacil.com)
- [www.isover.net](http://www.isover.net)
- [www.scielo.br](http://www.scielo.br)
- [www.sea-acustica.es](http://www.sea-acustica.es)
- [www.soloingenieria.net/](http://www.soloingenieria.net/)



# Anexo 1

## Valoración económica

---



## Coste de los equipos

Presentación del coste económico del alquiler de los equipos necesarios para la realización de las medidas.

Tabla A.1: Coste económico del alquiler de los equipos.

COSTE DE LOS EQUIPOS					
Equipo	Precio / unidad	Unidades	Precio alquiler unidad / semana [€]	Semanas	Precio [€]
Micrófono	270	4	50	2	400
Amplificador	4000	1	120	2	240
Fuente omnidireccional	5000	1	150	2	300
Fuente autoamplificada	250	1	50	1	50
NetdB	10000	1	300	2	600
Calibrador	500	1	100	2	200
Medidor de condiciones ambientales	1000	1	100	1	100
Cableado	300	1	9	2	18
<b>TOTAL</b>	<b>1908 €</b>				

## Coste de las medidas

Coste de las medidas realizadas por un Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones y el personal de laboratorio.

Tabla A.2: Coste económico de la medida del tiempo de reverberación.

MEDIDA DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN			
Concepto	Número de horas	Precio / Hora	Cuántía [€]
Realización de las medidas	8	40	320
Procesado de los datos	4	40	160
Interpretación de datos y realización del informe	6	40	240
Personal de laboratorio	4	25	100
<b>TOTAL</b>	<b>22 h</b>	<b>-</b>	<b>820 €</b>

Tabla A.3: Coste económico de la medida del coeficiente de absorción sonora.

<b>MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA</b>			
Concepto	Número de horas	Precio / Hora	Cuántía [€]
Realización de las medidas	16	40	640
Procesado de los datos	8	40	320
Interpretación de datos y realización del informe	12	40	480
Personal de laboratorio	4	25	100
<b>TOTAL</b>	<b>40 h</b>	<b>-</b>	<b>1540 €</b>

Tabla A.4: Coste económico de la medición “*in situ*” del aislamiento al ruido aéreo.

<b>MEDIDA DEL AISLAMIENTO AL RUIDO AÉREO</b>			
Concepto	Número de horas	Precio / Hora	Cuántía [€]
Realización de las medidas	8	40	320
Procesado de los datos	8	40	320
Interpretación de datos y realización del informe	16	40	640
Personal de laboratorio	4	25	100
<b>TOTAL</b>	<b>36 h</b>	<b>-</b>	<b>1380 €</b>

## Coste de la redacción del proyecto

Coste económico de la redacción del resto del proyecto.

Tabla A.5: Coste económico de la redacción del proyecto.

<b>REDACCIÓN DEL PROYECTO</b>				
Partida	Concepto	Horas	Precio / Hora	Importe [€]
Redacción	Redacción del proyecto	90	40	3600
<b>TOTAL</b>	<b>3600 €</b>			

## Coste económico total

Tabla A.6: Coste económico total del proyecto.

<b>COSTE ECONÓMICO TOTAL</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Precio [€]</b>
<b>Alquiler de los equipos</b>	1908
<b>Medida del tiempo de reverberación</b>	820
<b>Medida del coeficiente de absorción sonora</b>	1540
<b>Medida del aislamiento a ruido aéreo</b>	1380
<b>Redacción del proyecto</b>	3600
<b>TOTAL</b>	<b>9248 €</b>
<b>TOTAL + 21% IVA</b>	<b>11190 €</b>

Se estima que el coste total de la realización de este proyecto será de 11190 €.



# Anexo 2

## Especificaciones técnicas

---





## 1 Micrófonos de presión ¼" MI 17, AVM



### PRODUCT INFORMATION

¼"-Electret Condenser Microphones MI17, MI18, MI19 for industrial measurements



<b>Features</b>	Frequency Range:	20 Hz to 20 kHz
	Dynamic Range:	30 to 130 dB (SPL)
	Frequency Response complies with DIN-IEC 651, Class 1 (Free-field)	
	Reasonable Price	
	Constant Current Supply (ICP <sup>®</sup> )	

### Description:

The ¼"-condenser microphones MI17 to MI19 are free-field types with integrated electronics. They can be delivered with narrow tolerances ( $\pm 5\%$ ) and with sensitivities between 10 and 100 mV/Pa.

For MI17 and MI18 special versions – e.g. for high sound pressure levels – are available. Power supply can be achieved by either a constant current source (standard) or an optional voltage source (5-30 V). Coaxial cables are used for connection. The microphones are generally equipped with BNC-sockets. Other connectors (TNC, SMB, LEMO,  $\mu$ dot) are available as an option.

A special Version is the microphone MI19. It can be connected to standard microphone front ends with Lemo-connectors (Ser. 1B, 7pol).



MADRID • BARCELONA • ZARAGOZA • LISBOA



SGI 2201612



### Technical Data

Common properties:	Frequency response	30 Hz....4 kHz $\pm 0,5$ dB 4 kHz....20 kHz $\pm 1,5$ dB
	Temperature Range:	-10° ...50°C

Individual properties for standard types:

Type	MI17	MI18	MI19	
Sensitivity	50 $\pm 5\%$	50 $\pm 5\%$	50 $\pm 5\%$	mV/Pa
Inherent noise (lin: 20Hz-20kHz)	$\approx 30$	$\approx 30$	$\approx 30$	dB (re 20 $\mu$ Pa)
(„A“-weighted)	$\approx 26$	$\approx 26$	$\approx 26$	dB (re 20 $\mu$ Pa)
Maximum sound pressure level	$\approx 130$	$\approx 130$	$\approx 130$	dB (re 20 $\mu$ Pa)
Constant current supply	2-8	2-20	$\pm 14$ V/28-150V	
Source resistance	50	50	50	$\Omega$
Dimensions – Total length:	93	84	103	mm
Body diameter:	8	7	7	mm
Connector socket:	BNC	BNC	Lemo 1B	
Weight:	23	10	24	Grams

Lengths and weights are different with other types of connectors.

Special types are available upon request.



## 2 Amplificador de potencia M700, Inter-M

# M-500/700/1000

**interM**
**MAJESTIC SERIES AMPLIFIER**


### FEATURES

- **SUBSTANTIAL PROTECTION CIRCUITRY**  
To insure stability and reliability against overcurrent and overheating, thermal protection circuitry is provided.
- **VARIABLE SPEED FAN COOLING**  
For good reliability, fan cooling is provided. And variable speed circuit with low fan noise.
- **BALANCED INPUT COMBINATION JACK**  
A balanced input combination jack is provided for easy connection.
- **SPEAKER CONNECTION**  
Speaker jack connector is provided for easy connection to speaker.
- **COMPACT SIZE**  
For valuable saving in rack space and slim exterior view, these amplifier is designed within compact size.
- **SOFT-START SYSTEM**  
To prevent inrush current when turn on the amplifier, soft start circuit is provided on primary power lines.

### SPECIFICATIONS

#### ■ ELECTRICAL

\*0dB=0.775V/rms

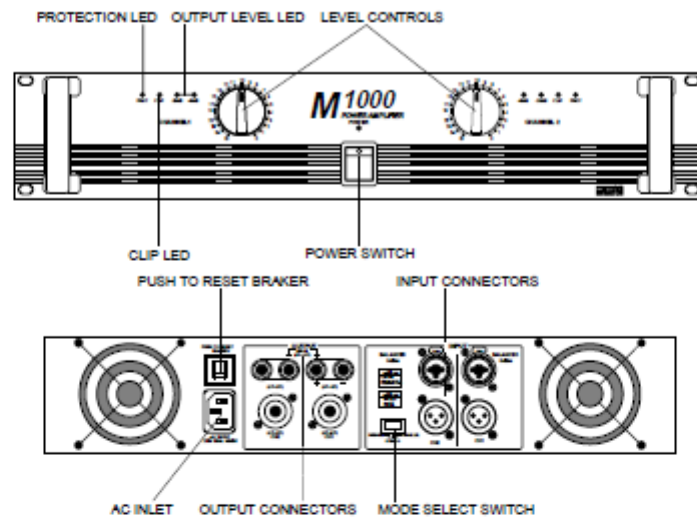
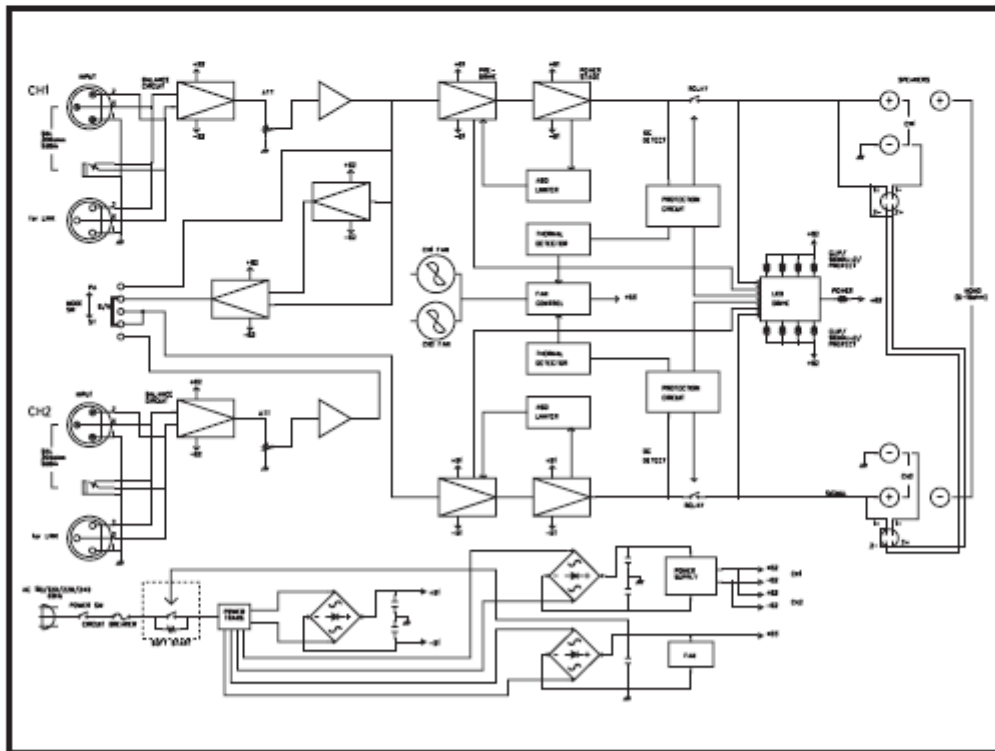
##### Rated Output

	M-500	M-700	M-1000
at 8Ω 1kHz(Stereo CH)	150W	220W	330W
at 4Ω 1kHz(Stereo CH)	250W	350W	500W
at 8Ω 1kHz(Bridged Mono)	500W	700W	1000W

- Input Sensitivity/Impedance.....0dB/20kΩ, BAL
- Frequency Response(±0.5dB).....10Hz~35kHz
- T.H.D(at 1kHz Rated Output).....Less than 0.1%
- S/N.....Better than 100dB

#### ■ GENERAL

- Power Source.....AC 110V-240V, 50/60Hz
- Power Consumption.....M-500:420W  
M-700:520W  
M-1000:770W
- Weight.....M-500:12kg  
M-700:15kg  
M-1000:17kg
- Dimensions.....482(W)×88(H)×389(D)mm

**M-500/700/1000****BLOCK DIAGRAM**

**interM**

OFFICE : 653-5 BANGHAK-DONG, DOBONG-KU, SEOUL, KOREA TEL : 82-2-2289-8140~8, FAX : 82-2-2289-8149  
Home page : <http://www.inter-m.com> E-mail : [export@inter-m.com](mailto:export@inter-m.com)

9047920610 C

### 3 Fuente sonora dodecaédrica DO12, AVM

*Fuente de Ruido Omnidireccional DO-12*



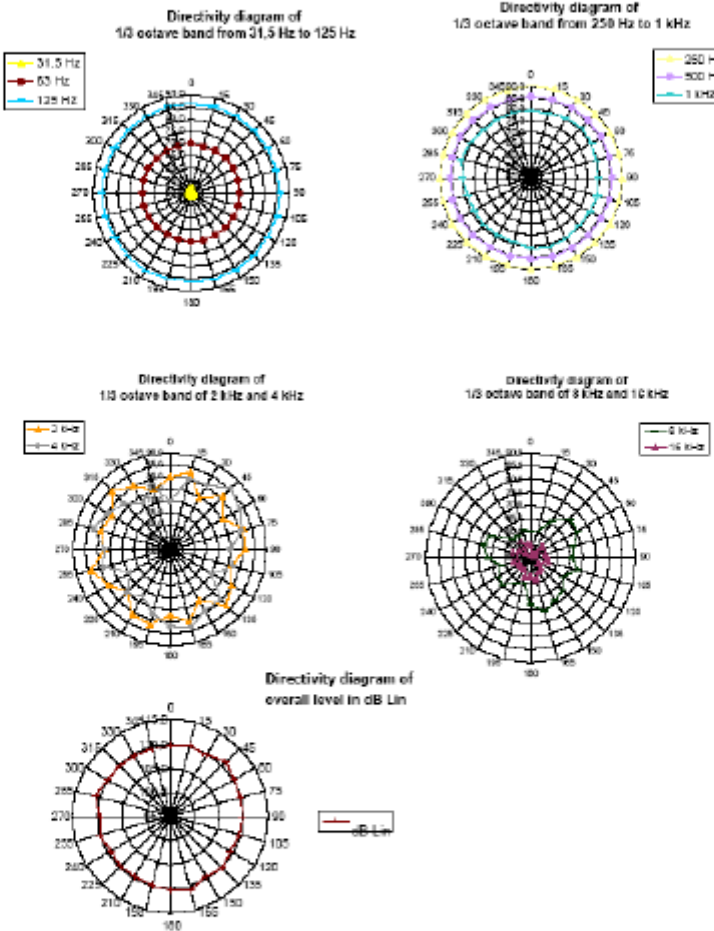
#### I. ESPECIFICACIONES DE LA FUENTE DO12

##### Características generales:

- ☐ Diseñada para emisión de ruido rosa y blanco
- ☐ Potencia máxima de entrada: 600 W.
- ☐ Impedancia : 10 Ohmios
- ☐ Potencia sonora emitida : 120 dB con emisión de la señal en bandas de octava (80Hz - 6.3kHz)
- ☐ Campo sonoro difuso esférico conforme a la norma UNE-EN-ISO 140
- ☐ Altavoz dodecaedrico (12 altavoces)
- ☐ Diámetro : 450 mm
- ☐ Peso: 18 kg. (sin trípode), 8 kg. peso del trípode

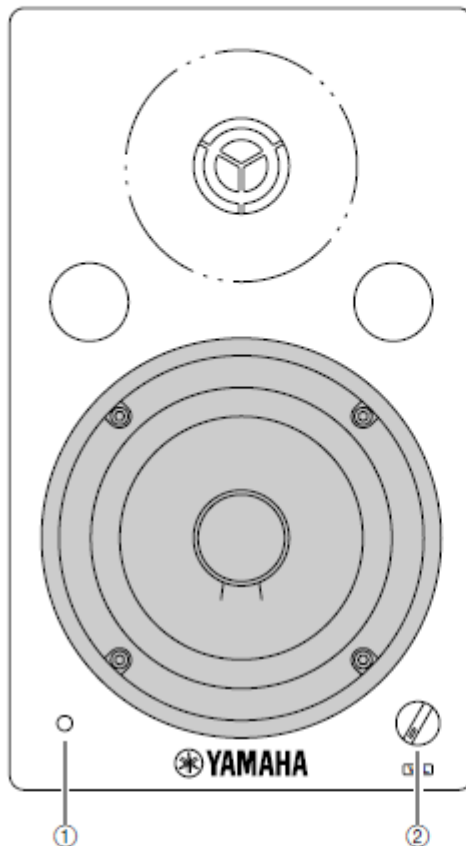


2. DIAGRAMAS DE DIRECTIVIDAD PARA DIFERENTES BANDAS DE FRECUENCIA

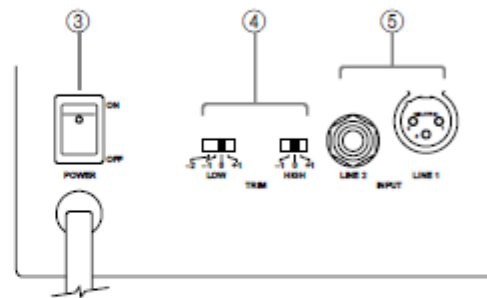


## 4 Fuente sonora MSP5, Yamaha

### Panel frontal/posterior



- ① **Indicador de alimentación**  
Este indicador se encenderá cuando ponga el interruptor POWER en ON.
- ② **Control de volumen (VOL)**  
Este mando de control le permitirá ajustar el volumen global del sonido. Si lo gira hacia la izquierda, el volumen se reducirá, y si lo gira hacia la derecha, aumentará.



- ③ **Interruptor de alimentación (POWER)**  
Este interruptor conecta y desconecta la alimentación del MSP5. Cuando ponga este interruptor en ON, se encenderá el indicador de alimentación verde del panel frontal.
- ④ **Selectores de ajuste (TRIM)**  
Estos interruptores le permitirán ajustar los graves y los agudos para el MSP5.
- LOW: cuatro posiciones**  
El selector LOW le permitirá ajustar la gama de graves. Con el ajuste "+1", la gama de graves se reforzará 1,5 dB. Con los ajustes de "-1" y "-2", la gama de graves se cortará 1,5 dB. (Consulte el gráfico de operación.)
- HIGH: tres posiciones**  
El selector HIGH le permitirá ajustar la gama de agudos. Con el ajuste "+1", la gama de agudos se reforzará 1,5 dB. Con los ajustes de "-1", la gama de agudos se cortará 1,5 dB. (Consulte el gráfico de operación.)
- ⑤ **Tomas de entrada (INPUT)**
- LINE 1**  
Ésta es una toma de tipo XLR utilizada para conectar una salida de línea equilibrada.
- LINE 2**  
Ésta es una toma de tipo utilizada para conectar una salida de línea desequilibrada.

Español



## Especificaciones

### Especificaciones generales

Tipo .....	Altavoz con doble amplificador de dos vía, reflector de graves
Frecuencia de cruce .....	2,5 kHz
Gama de frecuencias .....	50 Hz-40 kHz
Nivel máximo de salida .....	101 dB (1 m en eje)
Dimensiones (An x Al x Prf) .....	169 x 279 x 222 mm
Peso .....	7,5 kg

### Unidades altavoces

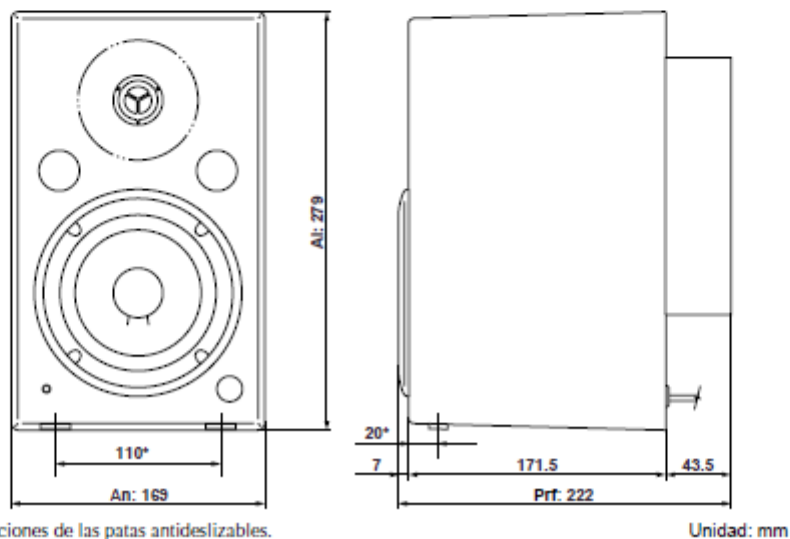
Unidades altavoces .....	Baja frecuencia: cono de 12 cm (4 , magnéticamente apantallada)
	Alta frecuencia: cúpula de titanio de 2,5 cm (6 , magnéticamente apantallada)
Caja acústica .....	Tipo: Reflectora de graves
	Volumen: 6,3 l

### Unidades amplificadoras

Potencia máxima de salida .....	Baja frecuencia: 40 W a 400 Hz, distorsión armónica total= 0,02%, RL= 4
	Alta frecuencia: 27 W a 10 kHz, distorsión armónica total= 0,02%, RL= 6
Sensibilidad/impedancia de entrada .....	LINE 1: +4 dB/10 k (toma XLR equilibrada)
	LINE 2: -10 dB/10 k (toma telefónica desequilibrada)
Relación señal-ruido .....	100 dB (Ponderación A)
Controles .....	Selectores TRIM
	LOW: 4 posiciones (+1,5 dB, 0 dB, -1 dB, -3 dB a 60 Hz)
	HIGH: 3 posiciones (+1,5 dB, 0 dB, -1,5 dB a 15 kHz)
	Interruptor POWER: ON/OFF
	Control VOL
Indicador de alimentación .....	LED verde
Alimentación .....	EE.UU. y Canadá: AC120 V, 60 Hz
	Europa: AC230 V, 50 Hz
	Otros: AC240 V, 50 Hz
Consumo .....	60 W
Accesorios .....	Patas antideslizables x 2

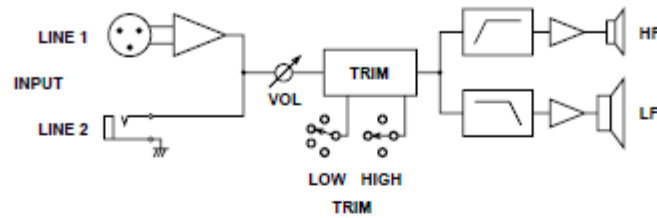
Las especificaciones y el aspecto están sujetos a cambio sin previo aviso.

## Dimensiones

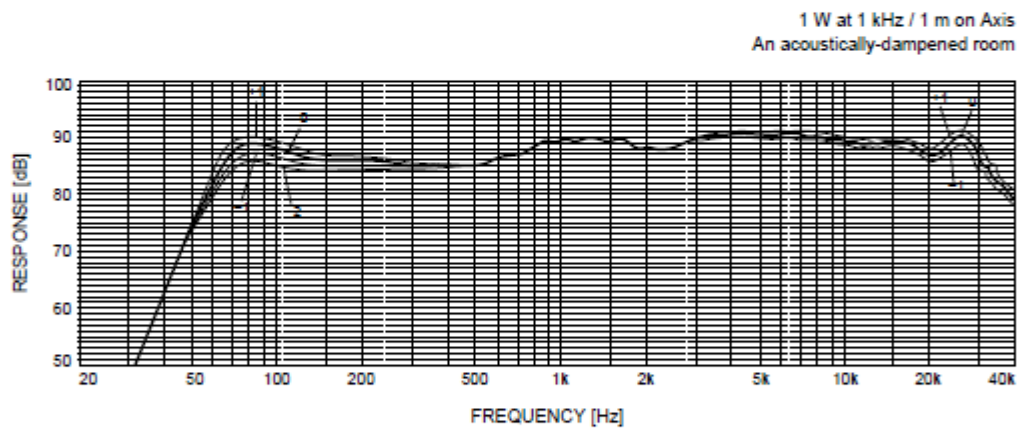




## Block Diagram/Schéma/Blockschaltbild/Diagrama en bloques



## Performance graph/Graphique de performance/Frequenzgrafik/Gráfico de operación



## 5 Sistema de adquisición NetdB, 01dB –Metravib

SPECIFICATIONS	
<b>Input channels</b>	
Channel count	12 BNC connectors with high rigidity frame
Impedance	1 M $\Omega$
Coupling	DC / AC (0.3Hz) / AC (20 Hz) / IEPE ((ICP®, ISOTRON®, DELTATRON®...)) 24V-4mA independently selectable on each channel
Voltage Ranges	-20dB: -15V/+15V (10V RMS). 0dB: $\pm 1.5$ (1V RMS). + 20dB: $\pm 150$ mV (100mV RMS).
Max. allowable voltage	Min -20V, Max +20V
Frequency response	within $\pm 0.5$ dB
Anti-aliasing low-pass filter	Digital Low Pass Filter : according to sampling frequency; slope > 140dB/Octave Oscillation in pass-band: < 0.15dB
Resolution	24 bits linear per channel – 128 times over-sampling $\Sigma/\Delta$ ADC
Sampling Frequency	12.8 kHz, 25.6 kHz or 51.2 kHz. The frequency is identical on all the channels. If several units are synchronized the frequency is identical for all the channels.
SNR	97 dBA (1V) – 107 dBA with the 200V optional card
DC component	< 0.1% Full scale
Noise floor	< 0,0025% Lin Full scale
Cross talk	- 80 dB or less
THD	0.001% or less
Cross channel phase difference	< 0.05° from 5 Hz to 1250Hz (in the same input conditions – AC (0,3 Hz) coupling – 1V range) < 0.4° from 20 Hz to 1250 Hz (in the same input conditions – AC (20 Hz) coupling – 1V range)
Linearity	$\pm 0.1\%$ or less
Drift	$\pm 0.1\%$ or less (15 min-2 h after switch ON)
<b>Acquisition triggering</b>	
Mode	- Free run. - External Trigger - Synchronized with other NetdB
External Trigger	- BNC TTL Logical (1.8V triggering level) - positive or negative slope.
<b>Output channels</b>	
Number of channels	2 BNC outputs / 1 Jack 6.35 for Stereo Headphones / 1 RCA SPDIF output
Level	Up to 20V peak.
<b>Processing power</b>	
Processor speed	600MHz
Operating system	Windows XP Embedded
Memory	128 MB
Storage	85 GB (12 hours of continuous measurement @ 12 channels 51.2KHz/24bit)

<b>Connectivity</b>	
PC link (type/speed)	Ethernet 100MBits connector RJ45 (Rear panel)
Extension link	Ethernet 100MBits connector RJ45 (Rear panel)
PDA Link (type/seed)	WiFi 802.11g 54Mbps for remote control (optional)
Internet link	could be connected to an ADSL router allowing Remote acquisition through Internet
Digital PC connection	4 x USB 2.0 sockets (Rear panel)
<b>Power Supply</b>	
Connector	Neutrik XLR
Input Voltage	from 12V to 14V
Power supply	100/240VAC – 50/60Hz
Total power	20W
Max input voltage	15V
Max power current	3.5A – Max. 5A
Battery Life	Internal NiMH* 4000mAH (no memory effect) – 1h45 (full sampling frequency on 12 channels)
Time for charging	Approx. 2h30min
<b>Fan</b>	
On/Off	Controlled by software
Operating temperature	No temperature influence
<b>Dimensions</b>	
H x W x D	85 mm x 250 mm x 263 mm
Weight	4.5 Kg
Mechanical Interface	4 holes M4 (200mm x 60mm) on left and right side, for integration
<b>Environmental</b>	
Operating temperature/humidity	0°C to 60°C / 90% without condensation
Storage temperature/humidity	-10°C to 70°C / 90% without condensation
Operating air pressure	800hPa to 1050hPa
Operating position	Horizontal and vertical
Vibration resistance	10 ms <sup>-2</sup> (9-200Hz), 3 mm (2-9Hz) operating
Shock resistance	250 ms <sup>-2</sup> (2ms) operating
Vibration class	EN60721-3-4 class 4M5
Noise emission	LW(A) 49dB(A) with fan running, (measured with ISO7779) LW(A) 33dB(A) fan off, software selectable (measured with ISO7779)
EMI	EN55011, EN55014, EN61000-4.2, EN61000-4.3, EN61000-4.4, EN61000-4.5, EN61000-4.6, EN61000-4.11
Safety	UL3101-1 / CSA C22.2 No.1010.1 / EN 61010-1 A1+A2

\* NiMH battery is without effect memory. Therefore, it can be charged at any time without risk of damage and decrease of longevity. Charge is automatically cut if the temperature becomes too high.

## 6 Calibrador de nivel de presión sonora Cal01, 01dB

### SPECIFICATIONS

- Acoustic calibrators Class 1 (Cal01) / Class 2 (Cal02) according 1 IEC 942 (1988)
- PTB approval
- Meteorological characteristics \*

Reference	Cal01	Cal02
Level	94 ± 0.3 dB	94 ± 0.5 dB
Amplification	+20 dB / -20 dB	-
Stability (better than)	± 0.1 dB	± 0.2 dB
Frecuency	1 kHz ± 2%	1 kHz ± 4%
Stability (better than)	± 0.5%	± 1%
THD less than	3%	3%

\* for reference conditions (20 °C, 1013 hPa and 65% RH)

- Calibration certificate provided
- Stabilisation time indicated by red LED
- Emission duration greater than 1 min after stabilisation
- Power supply by a 9 V alkaline battery (IEC type 6LR61) for 25 – hour continuous operation at 20 °C
- Diameter: 43 mm / Height: 90 mm
- Weight: 180 g with battery
- Delivered with a user manual, a 9 V alkaline battery, a leather cover (Cal01) and a ½ inch microphone adapter
- Optional adapters for ¼ and ⅛ inch microphones

## 7 Medidor de condiciones ambientales VelociCalc plus, TSI

# VELOCICALC® Plus

Multi-Parameter Ventilation Meters

### Models 8384, 8385, 8386

TSI's VELOCICALC® Plus Meters simultaneously measure and data log several ventilation parameters using a single probe with multiple sensors. Based on the model, these hand-held instruments measure velocity, temperature, differential pressure and humidity. All versions calculate volumetric flowrate. The Model 8386 also performs dew point, wet bulb temperature and heat flow calculations.

#### Data Logging Capabilities

- Data logging ability allows user to log 1394 samples with a time and date stamp
- Simultaneously records all parameters available in each model
- Single point and continuous data logging modes to fit your application
- Data can be reviewed on-screen, printed or downloaded to a computer spreadsheet program
- TSI downloading software permits easy transfer of data to a computer
- Statistics function displays average, maximum and minimum values, and the number of recorded samples

#### Features and Benefits

- Wide velocity range of 0 to 50 m/s
- Flowrate feature makes simple calculations of volumetric flowrate when the user inputs the duct shape and size, K factor or horn size
- Velocity measurements are made from the thermal sensor or a Pitot tube
- Automatic conversion between actual and standard velocity readings
- Direct calculation of dew point and wet bulb temperature - no psychrometric chart needed (Model 8386 only)
- Heat flow function calculates heat transferred after a heating or cooling element (Model 8386 only)
- Stable digital display when measuring fluctuating flows
- Back-lit display is easy to read in poor lighting conditions
- 101.6 cm telescoping probe with etched length marks to make duct traverse measurements easier
- Optional articulating probe available
- Optional portable printer provides hard copy documentation of your measurements



Model 8386



**VELOCICALC Plus Specifications—Models 8384(A), 8385(A) and 8386(A)\*\*****Velocity From Thermal Sensor (all models):**

Range<sup>1</sup>: 0 to 50 m/s (0 to 9,999 ft/min)  
 Accuracy<sup>1&2</sup>:  $\pm 3.0\%$  of reading or  $\pm 0.015$  m/s ( $\pm 3$  ft/min), whichever is greater  
 Resolution<sup>1</sup>: 0.01 m/s (1 ft/min)

**Velocity From a Pitot Tube (Models 8385(A) and 8386(A)):**

Range<sup>3</sup>: 1.27 to 78.7 m/s (250 to 15,500 ft/min)  
 Accuracy<sup>4</sup>:  $\pm 1.5\%$  at 10.16 m/s (2,000 ft/min)  
 Resolution<sup>1</sup>: 0.01 m/s (1 ft/min)

**Volumetric Flowrate (all models):**

Range<sup>1</sup>: Actual range is a function of maximum velocity, pressure, duct size, and K factor

**Duct Size (all models):**

Range<sup>1</sup>: 1 to 635 cm in increments of 0.1 cm  
 (1 to 250 in. in increments of 0.1 in.)

**Static/Differential Pressure (Models 8385(A) and 8386(A)):**

Range<sup>5</sup>: -9.3 to +28.0 mmHg, or -1245 to +3735 Pa  
 (-5 to +15 in. H<sub>2</sub>O)  
 Accuracy<sup>6</sup>:  $\pm 1\%$  of reading,  $\pm 1$  Pa or  $\pm 0.01$  mmHg  
 ( $\pm 0.005$  in. H<sub>2</sub>O)  
 $\pm 0.03\%/^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.02\%/^{\circ}\text{F}$ )  
 Resolution<sup>1</sup>: 1 Pa, 0.01 mmHg (0.001 in. H<sub>2</sub>O)

**Instrument Temperature Range:**

Operating (Probe-8384 (A) and 8385 (A))<sup>1</sup>: -17.8 to 93.3°C (0 to 200°F)  
 Operating (Probe-8386 (A))<sup>1</sup>: -10 to 60°C (14 to 140°F)  
 Operating (Electronics)<sup>1</sup>: 5 to 45°C (40 to 113°F)  
 Storage<sup>1</sup>: -20 to 60°C (-4 to 140°F)  
 Resolution<sup>1</sup>: 0.1°C (0.1°F)  
 Accuracy<sup>7</sup>:  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.5^{\circ}\text{F}$ )

**Relative Humidity (Model 8386(A) only):**

Range<sup>1</sup>: 0 to 95% rh  
 Accuracy<sup>8</sup>:  $\pm 3\%$  rh  
 Resolution<sup>1</sup>: 0.1% rh

**Wet Bulb Temperature (Model 8386(A)):**

Range<sup>1</sup>: 5 to 60°C (40 to 140°F)  
 Resolution<sup>1</sup>: 0.1°C (0.1°F)

**Dewpoint (Model 8386(A) only):**

Range<sup>1</sup>: -15 to 49°C (5 to 120°F)  
 Resolution<sup>1</sup>: 0.1°C (0.1°F)

**Heat Flow (Model 8386(A) only):**

Range<sup>1</sup>: Function of Flow Rate, Temperature, Humidity and Barometric Pressure

Measurements Available<sup>1</sup>: Sensible Heat Flow, Latent Heat Flow, Total Heat Flow and Sensible Heat Factor

Units Measured<sup>1</sup>: BTU/h, kW

**Logging Capability (all models):**

Range<sup>1</sup>: Up to 1394 samples and 275 test id's (one sample can contain up to all eleven measurement types)  
 Intervals<sup>1</sup>: 2 sec, 5 sec, 10 sec, 15 sec, 20 sec, 30 sec, 60 sec, 2 min, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 30 min, 60 min

**Time Constant (all models):**

Intervals<sup>1</sup>: 1 sec, 2 sec, 5 sec, 10 sec, 15 sec, 20 sec

**External Meter Dimensions (all models):**

Size Measurements<sup>1</sup>: 10.7 cm  $\times$  18.3 cm  $\times$  3.8 cm (4.2 in.  $\times$  7.2 in.  $\times$  1.5 in.)

**Meter Probe Dimensions (all models):**

Probe Length<sup>1</sup>: 101.6 cm (40 in.)  
 Probe Diameter of Tip<sup>1</sup>: 7.01 mm (0.276 in.)  
 Probe Diameter of Base<sup>1</sup>: 10.03 mm (0.395 in.)

**Articulating Probe Dimensions (Models 8384A, 8385A, 8386A):**

Articulating Section Length<sup>1</sup>: 16.26 cm (6.4 in.)  
 Diameter of Articulating Knuckle<sup>1</sup>: 9.44 mm (0.372 in.)

**Meter Weight Dimensions (all models):**

Weight (with batteries)<sup>1</sup>: 0.54 kg (1.2 lbs)

**Power (all models):**

Requirements<sup>1</sup>: Four AA-size batteries (included) or AC adapter (optional)

\*\* Where 83XX(A) is listed, the specifications apply to both the 83XX (straight probe) and 83XX A (articulating probe) models.

<sup>1</sup> Temperature compensated over an air temperature range of 5 to 65°C (40 to 150°F)

<sup>2</sup> The accuracy statement of  $\pm 3.0\%$  of reading or  $\pm 0.015$  m/s ( $\pm 3$  ft/min), whichever is greater, begins at 30 ft/min through 9,999 ft/min.

<sup>3</sup> Pressure velocity measurements are not recommended below 1,000 ft/min and are best suited to velocities over 2,000 ft/min. Range can vary depending on barometric pressure.

<sup>4</sup> Accuracy is a function of converting pressure to velocity. Conversion accuracy improves when actual pressure values increase.

<sup>5</sup> Overpressure range = 520 mmHg, 69 kPa (275 in. H<sub>2</sub>O)

<sup>6</sup> Accuracy with instrument case at 25°C (77°F), add uncertainty of 0.03%/°C (0.02 %/°F) for change in instrument temperature.

<sup>7</sup> Accuracy with instrument case at 25°C (77°F), add uncertainty of 0.03%/°C (0.05 %/°F) for change in instrument temperature.

<sup>8</sup> Accuracy with probe at 25°C (77°F). Add uncertainty of 0.2%RH/°C (0.1%RH/°F) for change in probe temperature. Includes 1% hysteresis.

Specifications are subject to change without notice.



**TSI Incorporated**  
**Environmental Measurements and Controls Division**

500 Cardigan Road  
 Shoreview, MN 55126 USA  
 Telephone: 800 777 8366  
 651 490 2711  
 Fax: 651 490 2874  
 E-mail: emco@tsi.com  
 Website: www.tsi.com

**Europe:**  
**TSI AB:**  
 Telephone: 46 18 527000  
**TSI GmbH**  
 Telephone: 49 241 523030

P/N 2980119 Copyright © 1998 by TSI Incorporated Printed in U.S.A.

	8384	8385	8386
Velocity	•	•	•
Volumetric Flowrate	•	•	•
Temperature	•	•	•
Differential Pressure		•	•
Thermal/Pitot		•	•
Humidity			•
Dew Point			•
Wet Bulb Temperature			•
Heat Flow Calculations			•
Data Logging/Downloading	•	•	•
Statistics/Review Data	•	•	•
Density Correction Factor	•	•	•
Variable Time Constant	•	•	•
Printer Output	•	•	•
NIST* Calibration Certificate	•	•	•

All models are available with either a straight or articulating probe.